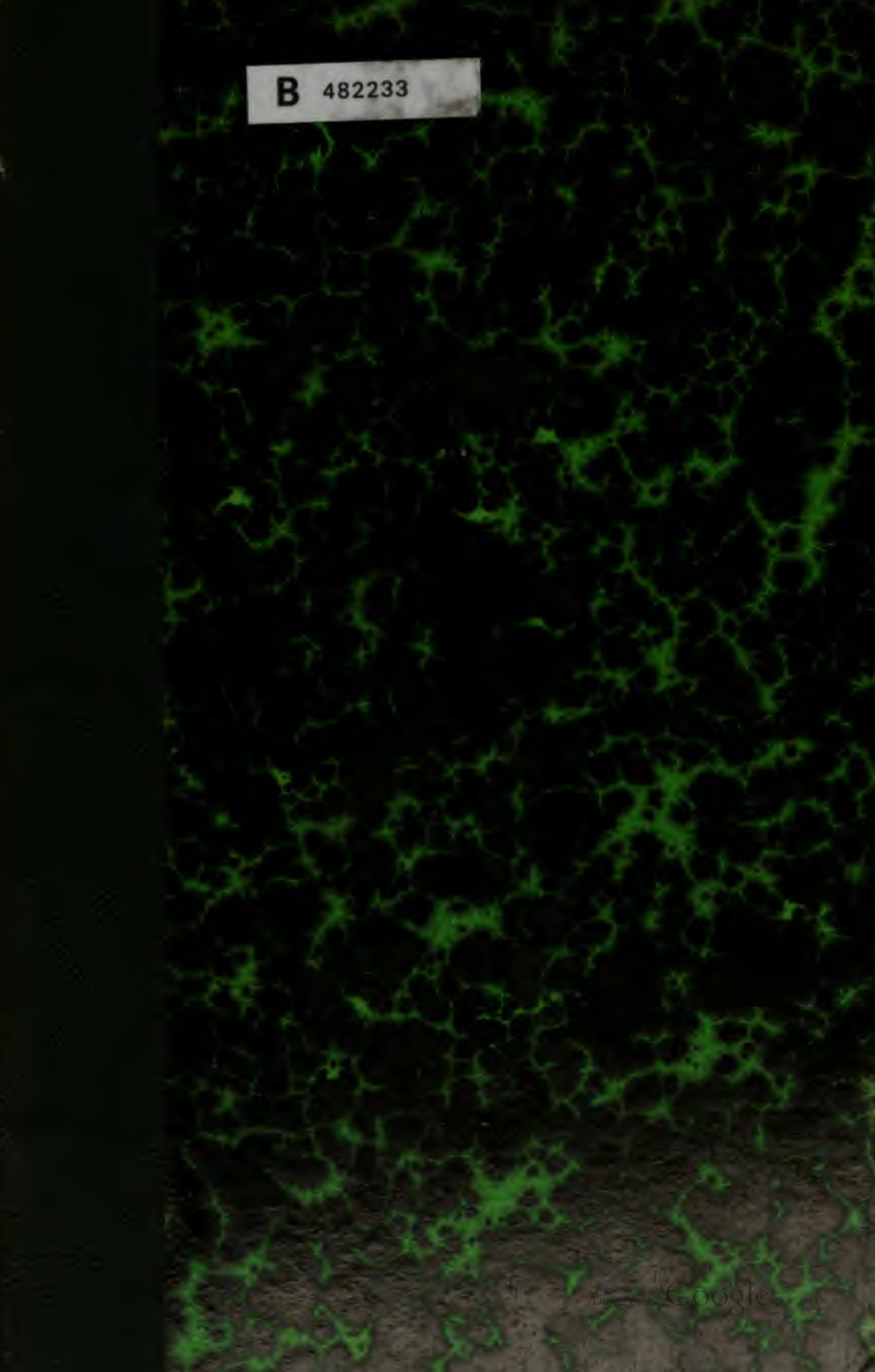
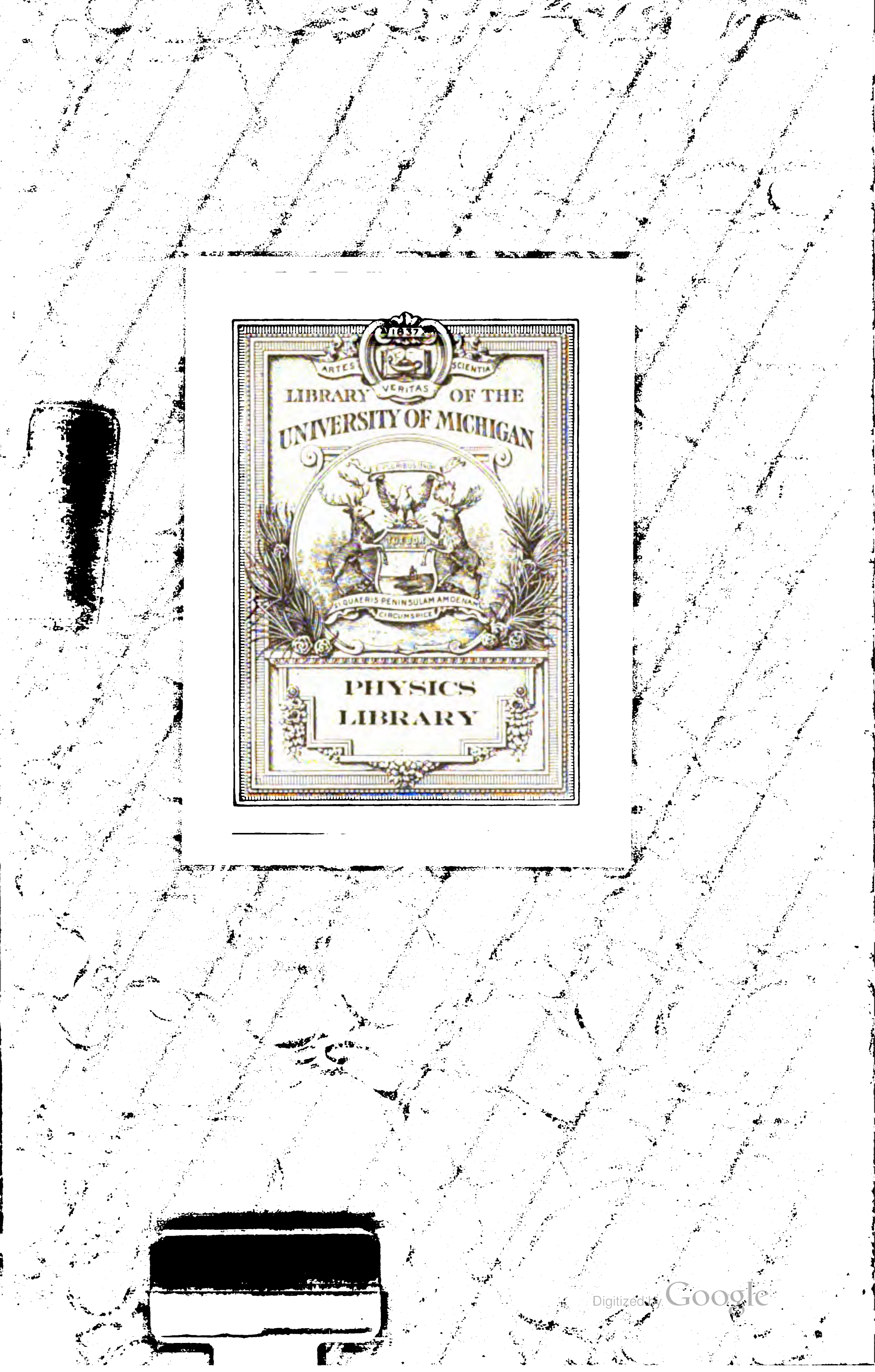

B 482233


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
PHYSICS
LIBRARY



SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1899.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1899.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1899

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 20 JANVIER 1895

PAR M. RENÉ BENOIT

Président sortant de la Société française de Physique.

MESSIEURS,

Le dernier devoir qui incombe à votre Président, au moment de quitter ce fauteuil où votre bienveillance l'a fait asseoir pendant une année, est, comme vous le savez, de jeter avec vous un coup d'œil sur l'histoire de notre Société au cours de cette année, de rappeler, dans un résumé rapide, les principaux faits qui ont pu l'intéresser, ses gains ou ses pertes, ses travaux, sa situation présente.

Dans cette sorte de bilan, que ramène chaque mois de janvier, il y a toujours un chapitre douloureux : c'est le compte de ceux dont la mort a éclairci nos rangs. Ce compte est particulièrement chargé cette fois, et l'an qui vient de s'écouler comptera parmi ceux où les pertes que nous avons eu à déplorer ont été le plus nombreuses. La liste de nos collègues décédés, soit à Paris, soit en province, ne comprend pas moins de dix-sept noms : MM. Alvergniat, l'habile constructeur universellement connu ; — d'Attainville, docteur en médecine ; — Paul Bailly, ancien professeur au lycée de Pau ; — Boucher, le distingué directeur du collège Rollin ; — Boutet de Monvel, professeur honoraire du Lycée Charlemagne ; — Charles Brisse, mathématicien, professeur à l'École centrale et au Conservatoire des Arts et Métiers, administrateur du *Journal de Physique ;*

— Croisier, capitaine d'artillerie de marine en retraite; — Coupier, ingénieur des poudres et salpêtres, directeur de la Raffinerie de Saint-Louis, à Marseille; — Dollfus, chimiste à Mulhouse; — Gauthier-Villars, notre éminent éditeur, qui avait su porter la typographie scientifique à la hauteur d'un art véritable; — Lechat, professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand; — Maurat, notre ancien Trésorier-Archiviste, des services dévoués duquel nous nous souviendrons toujours avec reconnaissance; — Maumené, professeur à la Faculté catholique de Lyon; — Ch. Martin (de Chartres), l'un des plus anciens membres de notre Société, à laquelle il a voulu, en mourant, laisser un souvenir; — de Méritens, constructeur électricien; — Dr Mergier, préparateur à la Faculté de Médecine de Paris; — enfin Raffard, ingénieur, auteur de divers travaux de mécanique et de nombreuses inventions. — J'ai tenu à nommer tous ces collègues ou amis disparus, pour les rappeler encore une fois à nos regrets et leur dire, au nom de tous, un dernier adieu.

Par suite de ces nombreux décès et de quelques démissions, qui sont venues s'y ajouter, notre Société, bien qu'elle ait admis pendant ces douze mois vingt-huit nouveaux adhérents, se trouve — comme vous avez pu le voir dans le Rapport de la Commission des Comptes qui est entre vos mains — finir l'année avec quelques unités de moins dans la liste de ses membres qu'elle n'en avait, il y a un an, à pareille époque. C'est la première fois, depuis son origine, que ce fait se présente. Faut-il s'en alarmer, Messieurs, et croire que nous sommes en décadence? Je ne le pense pas. Le déficit que je viens de signaler dans notre effectif est bien léger, presque insignifiant; il est permis de le considérer comme fortuit et d'espérer que toutes les années ne nous seront pas aussi cruelles. Mais il faut dire aussi que la Société de Physique, commencée modestement — je parle seulement au point de vue du nombre — par un petit groupe de savants, a progressé d'abord très vite, puis d'une manière plus lente, mais continue, en s'adjoignant peu à peu à peu près tous ceux qui, dans notre pays, cultivent notre science, et en outre un certain nombre, nécessairement assez restreint, d'étrangers. Comme le nombre des physiciens ou de ceux qui s'intéressent à la physique n'est pas indéfini, comme, d'autre part, une loi inéluctable veut que les vieux disparaissent à mesure que les jeunes arrivent, nous devons nécessairement tendre asymptotiquement vers une limite. Il semble que nous ne soyons plus bien loin de toucher cette limite,

d'atteindre cette moyenne, autour de laquelle nous oscillerons sans doute dans l'avenir, sans nous en écarter beaucoup, ni dans un sens, ni dans l'autre. Si donc la constatation du fait doit être pour chacun de nous un encouragement à tâcher de nous amener de nouvelles adhésions, à faire connaître au dehors notre Société et les conditions de son fonctionnement, elle n'implique certainement aucune crainte quant à sa vitalité future.

Le critérium de cette vitalité, il faut le chercher avant tout dans l'activité des travaux de la Société, dans la quantité et la qualité des produits qui en émanent, dans l'intérêt et l'attrait des séances qui réunissent ici, périodiquement, un public toujours nombreux et attentif.

Si l'année qui vient de s'écouler ne nous a pas apporté quelqu'une de ces découvertes qui font époque dans l'histoire de la science, du moins toutes les grandes questions qui préoccupent et occupent aujourd'hui les physiciens ont eu leur écho ici. Toutes ont fait surgir des travaux nombreux et remarquables et donné lieu à des communications variées et intéressantes, portant sur les branches les plus diverses de la physique. Vous ne vous attendez pas, Messieurs, à ce que je vienne ici vous apporter un résumé de ces communications. Elles sont trop récentes, trop présentes à vos souvenirs pour qu'il soit nécessaire d'y revenir. Leur nombre, au courant de l'année, a d'ailleurs dépassé la cinquantaine, et la seule énumération de leurs titres m'entraînerait au-delà du temps que je puis raisonnablement vous prendre. Permettez-moi donc de rappeler seulement, en quelques mots, les principales questions qui en ont fait l'objet.

Comme toujours l'électricité y occupe une grande place. Les rayons X, leurs transformations par diffusion sur divers corps simples, la production des rayons de divers ordres qui en dérivent, ont fait le sujet d'études importantes et de plusieurs communications intéressantes de la part de M. Sagnac. De son côté, M. Villard nous a parlé à plusieurs reprises de ses recherches sur les rayons cathodiques; il nous a appris l'art précieux de régénérer et de rendre pour ainsi dire inusable et éternel un tube de Crookes. Je rappelle encore les travaux et les expériences de M. Broca sur les propriétés des décharges électriques dans le champ magnétique; la belle démonstration expérimentale, réalisée devant nous par M. Cotton, d'un nouveau procédé d'observation du phénomène de Zeeman, au moyen du puissant électro-aimant de M. Pierre Weiss; les études de

M. Lamotte sur les ondes plus courtes que l'onde fondamentale dans les systèmes de Lecher et Blondlot; en électricité atmosphérique, les curieuses observations faites par M. Chauveau, à l'Observatoire de Trappes, sur la variation diurne de cette électricité. M. Bouty nous a montré à mesurer un champ magnétique, en ayant recours à l'induction réciproque de l'action électro-magnétique employée par M. Lippmann dans son galvanomètre à mercure, mais en remplaçant le mercure par un flux d'eau de rivière.

Dans d'autres ordres d'idées, je citerai les études de M. Leduc sur la loi du mélange des gaz; celles de M. Daniel Berthelot sur une méthode purement physique pour la détermination rigoureuse des poids atomiques. Le même M. Berthelot nous a apporté aussi les résultats obtenus par lui par la méthode optique qu'il a imaginée pour mesurer les hautes températures au moyen des interférences, et qui lui a permis de fixer avec plus de précision qu'on ne les avait jusqu'ici les points de fusion de l'or et de l'argent. MM. Baille et Féry ont réalisé une nouvelle méthode pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, construit les appareils et nous font espérer une fixation prochaine plus exacte de cette importante constante de la physique. M. Le Chatelier nous a fait connaître un nouveau dispositif propre à déterminer, avec une simplicité qui le rend applicable industriellement, les dilatations des corps jusqu'à 1000° environ. Dans une autre communication, il nous a montré que le rendement lumineux des manchons à incandescence s'explique, sans avoir besoin d'invoquer aucun phénomène exceptionnel, par la faiblesse de leur pouvoir émissif dans la région calorifique du spectre. Je rappellerai encore les intéressantes communications de M. Guillaume sur les propriétés anormales qu'il a découvertes dans les aciers au nickel, et sur les anomalies de l'eau; celle de M. Létang, sur le procédé de fabrication de l'acétylène par le carbure glucosé; celle de M. Foveau de Courmelles, sur l'endodiascopie; celle toute récente de M. Dussaud, sur les reliefs mobiles et les aveugles, sur le microphonographe et les sourds. En optique, M. Dongier a imaginé une nouvelle méthode de contrôle de l'orientation de faces polies d'un quartz épais normal à l'axe. L'acoustique nous a donné les études des voyelles, par le Dr Marage, à l'aide de la photographie des flammes manométriques, et celles de M. Crémieu, qui lui ont permis de mettre en évidence l'existence d'un mouvement vibratoire elliptique résultant de l'interférence, dans la partie commune

de deux tuyaux d'orgue, de deux vibrations longitudinales rectangulaires présentant un retard de phase convenable. Je ne saurais oublier la communication de M. Charpy sur l'influence du temps sur les déformations permanentes dans les métaux, non plus que les belles expériences que M. d'Arsonval a bien voulu venir faire devant nous avec l'air qu'il avait liquéfié dans son laboratoire. Je vous rappellerai encore, pour son originalité toute spéciale, l'essai qu'a fait M. Colardeau sur une reconstitution hypothétique du système métrique, dans le cas où celui-ci viendrait à être perdu, à l'aide des simples notions intuitives conservées par la mémoire de chacun relativement aux grandeurs absolues de nos unités actuelles.

Vous le voyez, Messieurs, les sujets qui ont été traités devant vous — et j'en ai encore omis beaucoup pour ne pas abuser de votre patience — ont été nombreux et variés. Le nombre des appareils divers qui nous ont été présentés par plusieurs collègues et constructeurs n'est pas moins considérable. Permettez-moi de citer : le dispositif photographique imaginé par M. Cailletet et réalisé par M. Gaumont pour déterminer la hauteur des ballons-sondes dans les recherches sur la haute atmosphère ; le spectroscope interférentiel de MM. Pérot et Fabry, construit par M. Jobin ; l'appareil de M. Guillaume pour la construction des courbes terminales des spiraux employés en horlogerie ; les transformateurs Wydts-Rochefort et divers interrupteurs à mercure ou autres, présentés par M. Rochefort ; un autre interrupteur de M. Villard ; les appareils de stéréoscopie radiographique de M. Chabaud ; ceux de M. Ducretet pour la télégraphie sans fil par les ondes hertziennes ; le galvanomètre à cadre pour usines de M. Le Chatelier, etc.

La plupart de ces appareils, et nombre d'autres encore, figuraient dans notre exposition de Pâques. Je ne veux pas revenir sur cette exposition, dont j'ai rendu compte en son temps avec des détails suffisants. Je n'ai pas besoin de vous rappeler qu'elle a trouvé son brillant succès habituel auprès de vous-mêmes, de nos collègues de province venus à Paris à cette occasion, et aussi du public étranger à notre Société. Je renouvelle encore nos remerciements à tous ceux qui y ont pris part, et particulièrement à ceux de nos collègues, MM. Morin, Ducretet, Hurmuzescu et Camichel, qui ont bien voulu y ajouter l'attrait de conférences ou communications d'un haut intérêt.

Je voudrais être court, Messieurs, et j'ai hâte de finir. Il est pour-

tant encore une manifestation de l'activité scientifique de notre Société, qui s'est produite cette année, et que je me reprocherais de passer sous silence dans cette rapide revue.

En 1888, votre Président d'alors, M. Wolf, vous annonçait la décision qu'avait prise votre Conseil de faire paraître un recueil des constantes les plus employées en physique. « Ces nombres, disait-il, dont on a constamment besoin, sont aujourd'hui dispersés dans de nombreux mémoires qu'on n'a pas toujours sous la main; les eût-on, il resterait encore à choisir, parmi les valeurs diverses d'une même constante, données par différents auteurs, celle qui présente le plus de garanties d'exactitude. C'est ce double travail de recherche et de critique que nous voulons éviter au physicien, en lui donnant des tables dont chaque nombre sera, sous la responsabilité d'un maître en la matière, le plus sûr et le plus exact. » En considérant le volume, paru cette année, qui représente le commencement d'exécution de ce programme, vous n'avez pas dû être surpris, Messieurs, de la longueur du temps qu'a exigée la mise en train de cette œuvre considérable. Ce volume est le premier des trois, aujourd'hui achevés et en cours d'impression [1], qui contiendront les constantes de l'optique Notre collègue, M. Dufet, à qui nous les devons, a consacré dix ans de labeur consciencieux et persévérant à en réunir les matériaux. Il a accompli un travail de bénédictin ; il a mis au jour un véritable monument d'érudition et de critique, et rendu à tous les physiciens un service dont nous ne saurions lui être trop reconnaissants. Nous n'avons qu'à souhaiter, pour l'honneur de notre Société et de son œuvre, qu'il trouve, pour les autres branches de la physique, des continuateurs semblables à lui, et que la suite soit digne d'un tel commencement.

Je ne puis signaler l'apparition de ce volume sans rappeler encore que tous les frais de sa publication ont été soldés par un donateur, ami de la Société, qui, à cette générosité tout à fait exceptionnelle, joint la modestie de ne pas vouloir être nommé. Ce n'est pas, Messieurs, la première fois que ce fait se produit. Notre Société, vous le savez, ne vise pas à thésauriser, à s'enrichir, à faire fortune. Nous sommes des prodigues. Aussitôt que nous voyons devant nous quelques ressources disponibles, si modestes qu'elles soient, nous

---

[1] Le deuxième volume, dont l'impression vient d'être achevée, a été présenté à la Société dans cette séance du 20 janvier.

n'avons pas de plus vif désir que de les faire disparaître, en les consacrant à quelque œuvre d'un intérêt général pour ceux qui cultivent notre science. C'est de ce parti pris qu'est née l'idée de notre collection de *Mémoires relatifs à la physique*, mémoires anciens, perdus dans des collections rares, quelquefois introuvables, parfois écrits en langue étrangère, que nous avons voulu mettre à la portée et sous la main de tous, dans une nouvelle et belle édition. C'est encore la même pensée qui a inspiré la résolution de publier notre *Recueil de Constantes*. Ce désir de bien faire et d'être utiles n'a pas été sans nous causer parfois quelques difficultés. Il est arrivé que des dépenses engagées dépassaient les prévisions, et votre Conseil aurait pu se trouver acculé, à diverses reprises, à des embarras plus ou moins graves, si une main inconnue et secourable ne s'était trouvée à point nommé, à chaque fois, pour combler nos déficits et rétablir l'ordre compromis de nos finances. Aujourd'hui encore, c'est cette main qui, en soldant un compte de 11000 francs chez nos éditeurs, a, par ce don magnifique, biffé d'un trait de plume notre grosse dette, restauré dans notre budget le bel équilibre que vous avez pu admirer dans le Rapport financier de votre Commission des Comptes, et qui nous permet de continuer à vaquer, sans inquiétudes, à la suite de nos travaux. J'espère, Messieurs, que l'anonymat n'empêchera pas de parvenir à leur destination les chaleureux remerciements que votre Conseil d'abord, et vous-mêmes ensuite, avez votés à ce sincère et libéral ami de la Société de Physique, et que je lui renouvelle aujourd'hui en notre nom à tous.

Parmi les faits qui sont de nature à intéresser la Société, je dois rappeler encore que votre Conseil a décidé de provoquer la réunion d'un Congrès international de Physique en 1900. Il nous a semblé que, à l'exemple de ce qui va se faire pour un grand nombre d'autres spécialités, scientifiques, littéraires, artistiques, industrielles et autres, il y aura intérêt pour les physiciens français à se mettre, à ce moment, en rapports plus étroits avec leurs confrères étrangers, qui, selon toute apparence, viendront nombreux à Paris, à l'occasion de l'Exposition. La Société de Physique devait naturellement se mettre à la tête de ce mouvement. Une Commission d'organisation a été nommée, qui a déjà tenu quelques séances et étudié quelques points préparatoires. Elle aura à examiner en particulier quelles seront les questions qui pourront être utilement apportées devant le Congrès, soumises à discussion, et peut-être devenir

l'objet d'une entente internationale. Le moment venu, nous ferons appel à vos lumières et à vos bonnes volontés pour donner à cette solennité scientifique toute l'ampleur et tout l'intérêt désirables.

Le résumé, Messieurs, que je viens de faire passer sous vos yeux, témoigne, je crois, en faveur de notre Société, d'une vitalité au sujet de laquelle il n'y a lieu de concevoir pour l'avenir aucune inquiétude. Nous pouvons nous en féliciter mutuellement, et chacun de nous peut accepter, sans fausse modestie, la part de remerciement qui lui revient légitimement pour cet heureux état de choses. Disons cependant bien haut que, si la Société de Physique a marché continuellement, depuis l'origine, dans une voie de progrès, nous l'avons dû en grande partie au bonheur que nous avons eu dans le choix de nos Secrétaires généraux. Je n'ai pas à insister ici sur l'importance du rôle du Secrétaire général dans une Société telle que la nôtre. Préparer nos séances, veiller à ce que les ordres du jour y soient toujours suffisamment fournis et attrayants ; rechercher, solliciter au besoin les communications trop modestes qui voudraient se dérober; écarter parfois les communications trop empressées à se produire qui sortiraient du cadre de nos études ordinaires ou ne présenteraient pas un intérêt suffisant ; favoriser l'exécution des expériences faites devant nous ; organiser nos réunions et notre exposition de Pâques, etc., telle est la tâche, difficile, laborieuse et délicate, à laquelle M. Pellat, après le regretté d'Almeida et M. Joubert, et à leur exemple, a donné sans compter, pendant ces huit dernières années, son temps, ses soins et ses peines. Aussi quelques-uns d'entre vous auront-ils été peut-être un peu surpris de ne pas voir figurer, parmi les propositions que vous présente votre Conseil pour le renouvellement de votre Bureau, celle de maintenir notre collègue dans ses fonctions de Secrétaire général. Ai-je besoin de dire, Messieurs, que, si nous en sommes venus à cette extrémité, c'est à notre corps défendant, après avoir fait tout ce que nous avons pu pour vaincre une résolution bien arrêtée de M. Pellat, et en finissant par nous rendre à contre-cœur aux bonnes raisons qu'il nous a données pour justifier sa décision? Il ne nous reste donc qu'à témoigner à M. Pellat, avec nos regrets, toute notre reconnaissance pour le zèle infatigable, le dévouement absolu qu'il a mis à notre service depuis déjà si longtemps, pour la part qui lui est due dans la prospérité actuelle de notre Société. M. Pellat n'est, d'ailleurs, heureusement perdu ni pour la science ni pour la Société de Physique. Nous le verrons encore longtemps au

milieu de nous, aussi assidu, aussi actif que par le passé, et apportant à nos séances les résultats de ses futurs travaux.

En même temps que M. Pellat, nous perdons encore M. Gay. Vous savez, Messieurs, que les fonctions silencieuses et modestes de Trésorier-Archiviste, absolument désintéressées d'ailleurs à tout point de vue, exigent de la part de celui qui veut bien en assumer la charge et la responsabilité un véritable dévouement à la Société. Depuis 1891, M. Gay a géré nos intérêts en cette qualité et s'est acquitté de cette tâche avec un zèle, une ponctualité, auxquels vos Commissions des finances se sont plu chaque année à rendre un hommage mérité. Au moment où il nous demande de faire passer sur d'autres épaules un fardeau qui devient lourd à la longue, nous nous inclinons aussi, avec grand regret, devant sa décision, et nous lui adressons nos remerciements cordiaux pour ses longs services.

Enfin, Messieurs, je me reprocherais de ne pas exprimer aussi un remerciement très sincère pour M. Sandoz, dont vous connaissez tous le zèle dévoué et infatigable pour tout ce qui touche notre Société; et aussi pour M. Pellin, pour la bonne grâce avec laquelle nous le trouvons toujours prêt à prêter son concours à nos séances.

Il ne me reste plus, Messieurs, avant de terminer, qu'à remplir un devoir très doux : c'est de vous remercier à mon tour pour le très grand honneur que vous m'avez fait en m'appelant à présider vos séances. Vous vous êtes souvenus que je suis un des plus anciens membres de la Société, un de ceux, dont les rangs commencent à s'éclaircir singulièrement, qui ont vu presque ses premiers débuts, qui ont suivi avec le plus d'intérêt, depuis l'origine, ses développements et ses progrès. En me confiant ces fonctions, que les habitudes de bonne et courtoise confraternité qui ont toujours régné ici rendent d'ailleurs si simples et si faciles, vous m'avez donné un témoignage de sympathie personnelle dont je suis vivement touché. Mais vous avez voulu aussi, sans aucun doute, honorer en ma personne l'ensemble des travaux accomplis, des services rendus à la science, par une longue et nombreuse collaboration, dans l'établissement auquel j'appartiens depuis plus de vingt ans. Je vous en suis profondément reconnaissant, Messieurs, pour cet établissement, pour mes collègues et collaborateurs, et je vous remercie pour eux comme pour moi-même.

En quittant ce fauteuil, je suis heureux de céder la place à mon cher et vieil ami, le colonel Bassot, le savant géodésien, membre de

l'Institut, directeur du service géographique de l'armée, et je l'invite à venir l'occuper.

Perte d'électricité par évaporation de l'eau électrisée. — Vapeur émise par un liquide non électrisé. — Application à l'électricité atmosphérique. — Influence des fumées;

Par M. H. Pellat [1].

I

Quand un liquide est électrisé, la vapeur qu'il émet est-elle électrisée? Les expérimentateurs ne sont pas d'accord sur ce point : les uns, comme L.-J. Black [2] (1883), n'ont pas pu mettre en évidence la charge de la vapeur; les autres, comme Peltier [3] (1842) ou E. Lecher [4] (1888), n'ont réussi à la manifester qu'en chargeant très fortement le liquide (25.000 volts pour Lecher), ce qui amenait sa pulvérisation. Aucun n'a montré le phénomène pour des densités électriques comparables à celles qui se trouvent à la surface de la Terre, ni n'a fait d'expériences quantitatives. Ce point a pourtant un grand intérêt, car plusieurs théories de la variation diurne de l'électricité atmosphérique [Peltier [5], Exner [6]], ont pour point de départ le transport dans l'atmosphère, par la vapeur qui se forme sur le sol, de l'électricité qui le recouvre.

J'ai réussi non seulement à mettre en évidence nettement qu'une surface d'eau électrisée, ayant une densité électrique peu supérieure (5 à 10 fois) à celle du sol, perd par son évaporation à la température ordinaire une portion de sa charge, mais en outre à mesurer cette perte.

Pour cela, j'ai étudié au moyen d'un électromètre à quadrants, observé par la méthode de Poggendorf, la déperdition spontanée

(1) Séance du 20 janvier 1899.

(2) Voir *J. de Phys.*, 2e série, t. II, p. 476; 1883.

(3) *Recherches sur les causes des phénomènes électriques de l'atmosphère et sur les moyens d'en recueillir les manifestations*, par A. Peltier, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. IV, p. 385.

(4) *Comptes Rendus de l'Académie de Vienne* (1888), p. 103.

(5) *Loc. cit.*

(6) *Comptes Rendus de l'Académie de Vienne* (1886 et 1888).

d'un système comprenant un vase très plat (5 millimètres de profondeur), suivant qu'il était vide ou plein d'eau jusqu'au bord à la température du laboratoire (18° à 20°). Dans les expériences comparatives, les conditions initiales étaient exactement les mêmes, ainsi que la durée de l'observation. Tous les isolants étaient constitués par de la paraffine, aussi bien ceux de l'électromètre (modèle de M. Boudréaux) que celui du vase; celui-ci communiquait avec une des paires de quadrants et avec l'aiguille, l'autre paire de quadrants était reliée à une conduite de gaz. La charge était produite en faisant communiquer le vase pendant un quart d'heure avec le pôle négatif d'une pile de 116 ou 155 volts dont le pôle positif était fixé à la conduite de gaz. Au bout de ce temps, on pouvait considérer les isolants comme ayant pris un état de charge permanent; la communication avec la pile était rompue, et l'on observait la déperdition du système isolé en notant le nombre de divisions de l'échelle ayant passé devant le fil du réticule à des époques déterminées données par un chronomètre.

Après quelques expériences de trop courte durée pour donner un résultat appréciable, quatre séries d'expériences furent faites avec une durée comprise entre $1^h 25^m$ et $1^h 45^m$.

Dans la première de ces expériences, la charge fut produite par une pile de 155 volts, qui donnait une déviation de 490 divisions de l'échelle; l'observation totale fut de 1^h 25 pour les deux expériences comparatives. Pendant ce temps :

Sans eau, la déperdition correspondit à	$278^d,2$
Avec eau — —	$301^d,9$
Différence..............	$23^d,7$

Conme dans cette expérience, le vase à évaporation était placé très près de l'électromètre, je craignis que de la vapeur d'eau ne se fût condensée sur les isolants de l'électromètre.

Les expériences suivantes, dans lesquelles l'électromètre était très loin du vase à évaporation, ayant donné les mêmes résultats, cette crainte n'était pas fondée.

Dans la seconde expérience, la charge fut faite avec une pile de 116 volts seulement, donnant 233 divisions de déviation.

Sans eau, la déperdition en $1^h 39^m 30^s$ correspondit à.....	$135^d,5$
Avec eau — —	$145^d,0$
Différence.................	$9^d,5$

Si l'on remarque que la déviation initiale est inférieure à la moitié de ce qu'elle était dans la première expérience, il n'est pas surprenant que les nombres de divisions correspondant à chacune des déperditions soient aussi inférieurs à la moitié de ceux de l'expérience précédente et qu'il en soit de même de leur différence.

On pouvait craindre qu'avec le temps l'isolement des supports fût diminué par une cause quelconque. Pour me mettre à l'abri de cette cause d'erreur, dans une troisième série, une expérience avec de l'eau dans le vase fut intercalée entre deux expériences sans eau. La charge faite avec 116 volts donna 226 divisions de déviation.

Sans eau, la déperdition en $1^h 44^m 30^s$ correspondit à..	$156^d,4$	
Avec eau — — ..		$172^d,8$
Sans eau — — ..	$162^d,3$	
Moyenne................	$159^d,3$	
Différence............	$172,8 - 159,3 = 13^d,5$	

Enfin, pour me mettre à l'abri de l'influence d'une condensation possible de la vapeur sur le support isolant même du vase, une dernière expérience fut faite en étudiant la déperdition d'abord dans le cas où le support, terminé par un plateau de laiton de même diamètre que le vase plat, était seul en communication avec l'électromètre, le vase *plein d'eau* étant placé à côté, à la même distance de l'isolant du support que lorsqu'il était posé sur celui-ci. Ensuite, dans l'expérience comparative, on plaçait le vase plein d'eau sur le support communiquant avec l'électromètre.

Les expériences furent croisées, partiellement du moins; un accident mit fin à la troisième, faite sans eau sur le support, comme la première; mais la marche de l'électromètre était tellement identique dans la partie commune à la première et à la dernière expérience, et si nettement différente de la partie correspondante de l'expérience intermédiaire faite avec l'eau sur le support que l'on pouvait avoir la même confiance en cette série que si la dernière expérience s'était poursuivie jusqu'au bout.

En outre, l'état hygrométrique fut mesuré avec un psychromètre dans le voisinage du vase à évaporation; je trouvai que la force élastique de la vapeur d'eau dans l'air était mesurée par $0^{cm},843$ de mercure, tandis que la force élastique maximum pour la température de l'eau ($19^\circ,6$) était mesurée par $1^{cm},697$.

La charge produite par une pile de 116 volts donnait 246 divisions de déviation.

Sans eau sur le support, la déperdition en $1^h 45^m$ correspondit à...	$170^d,4$
Avec eau — — — ...	$182^d,9$
Différence..................	$12^d,5$

Ainsi toujours la déperdition est plus grande dans le cas où l'eau fait partie du système isolé, et les différences, ramenées à la même déviation initiale sont du même ordre de grandeur.

Si l'on réfléchit à la grande capacité de l'électromètre, dont l'aiguille forme condensateur avec l'une des paires de quadrants, vis-à-vis de la capacité de la surface de l'eau qui s'évapore, on reconnaît qu'à cette différence doit correspondre une déperdition de la charge de l'eau, grande par rapport à cette charge[1].

Afin de me renseigner à cet égard, je mesurai quelle était la diminution de potentiel du système isolé, quand on enlevait une quantité d'électricité égale à celle qui couvrait la surface du liquide. Pour cela, sur le vase vide j'appliquais pendant un instant un plan d'épreuve du même diamètre (14 centimètres) que le vase; deux lectures étaient faites avant et après l'application du plan d'épreuve à trente secondes ou une minute d'intervalle. Je corrigeais la seconde lecture de la très petite quantité dont se déplaçait l'aiguille dans le même intervalle de temps sous l'influence de la déperdition seule. En désignant par D_1 et D_2 les déviations (la seconde corrigée) avant et après l'application du plan d'épreuve, par V_1 et V_2, les potentiels correspondants, on a $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}}$. D'autre part, en appelant M la charge primitive du système isolé, m la charge enlevée par le plan d'épreuve, C la capacité du système, on a :

$$(1) \qquad M = CV_1, \qquad M - m = CV_2,$$

d'où

$$(2) \qquad \frac{m}{M} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - \frac{V_2}{V_1} = 1 - \sqrt{\frac{D_2}{D_1}}.$$

La moyenne de vingt déterminations très concordantes, faites pour

(1) L'insuccès des expériences de M. L.-J. Black me paraît tenir à l'énorme capacité de son appareil de mesure.

des valeurs très différentes de D_1, ont donné pour $\sqrt{\frac{D_2}{D_1}}$ le nombre 0,9632 [1]. On a donc $\frac{m}{M} = 0{,}0368$.

D'autre part, désignons par $-\,dm$ la quantité d'électricité que perd pendant le temps dt le système isolé par le seul fait de la vaporisation de l'eau et par $-\,dm'$ la quantité d'électricité qu'il perd pendant le même temps dt par les autres causes. Ces quantités $-\,dm$ et $-\,dm'$ sont proportionnelles à l'excès V de potentiel du système sur les parois de la pièce; on a donc :

$$-\,dm = \alpha V dt, \tag{3}$$
$$-\,dm' = a V dt, \tag{4}$$

α et a étant deux constantes; d'où pour la perte $-\,dM$ due aux deux causes réunies :

$$-\,dM = -\,dm - dm' = (a + \alpha) V dt.$$

Du reste on a :

$$dM = C dV,$$

d'où :

$$-\,C dV = (a + \alpha) V dt, \qquad \text{ou} \qquad \frac{dV}{V} = -\frac{a + \alpha}{C}\,dt,$$

et par intégration :

$$L\frac{V_1}{V_0} = -\left(\frac{a + \alpha}{C}\right) t, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{a + \alpha}{C} = \frac{1}{t} L\frac{V_0}{V_1} = \frac{1}{2t} L\frac{D_0}{D_1}, \tag{5}$$

en appelant D_0 et D_1 les déviations de l'électromètre correspondant

---

(1) L'extrême concordance de ces mesures m'a surpris. J'ai fait à cet égard deux séries d'expériences à quelques jours de distance. Chaque série a compris dix applications du plan d'épreuve, et comme la charge enlevée par le plan d'épreuve n'était pas renouvelée, les déviations initiales D_1 allaient en décroissant à mesure que le nombre des applications du plan d'épreuves augmentait. Dans la première série, D_1 passa ainsi de la valeur 217,5 à la valeur 53,6; les dix valeurs de $\sqrt{\frac{D_2}{D_1}}$ furent comprises entre 0,965 et 0,962; six d'entre elles furent égales à 0,963, et la moyenne fut 0,9632. Dans la seconde série D_1 passa de la valeur 242,8 à 104,0. Je modifiai à dessein la forme du plan d'épreuve (qui était loin d'être un plan parfait) en le rendant légèrement concave ou légèrement convexe; ces modifications ne changèrent rien aux nombres. Je m'assurai aussi que l'isolement du plan d'épreuve était parfait. Les nombres trouvés pour $\sqrt{\frac{D_2}{D_1}}$ furent compris entre 0,965 et 0,961, et la moyenne fut 0,9633, presque exactement la même que dans la première série.

au temps 0 et au temps t. Cette relation fournit $\frac{a+\alpha}{C}$ d'après les observations D_0, D_1 et t, d'une expérience où l'eau fait partie du système isolé. Dans l'expérience comparative où l'eau ne fait pas partie du système, on a, en appelant D_0', D_1' et t les données expérimentales :

$$(6) \qquad \frac{a}{C} = \frac{1}{2t} \operatorname{L} \frac{D_0'}{D_1'},$$

ce qui donne $\frac{a}{C}$; par différence on obtient $\frac{\alpha}{C}$. En portant cette valeur ainsi trouvée dans la relation (3), il vient :

$$(7) \qquad -dm = \left(\frac{\alpha}{C}\right) CVdt = \left(\frac{\alpha}{C}\right)\left(\frac{M}{m}\right) \cdot mdt,$$

d'où :

$$(8) \qquad v = -\frac{1}{m}\frac{dm}{dt} = \left(\frac{\alpha}{C}\right)\left(\frac{M}{m}\right),$$

les valeurs connues de $\frac{\alpha}{C}$ et de $\frac{m}{M} = 0{,}0368$ donnent la quantité $v = -\frac{1}{m}\frac{dm}{dt}$ que j'appellerai la *vitesse relative de déperdition par évaporation*. Cette quantité doit être une constante dans des conditions données de température et d'état hygrométrique, si toutefois on néglige la variation d'évaporation constatée par M. Mascart avec la densité électrique σ de la surface liquide. Mais, comme nous le verrons un peu plus loin, cette variation de vaporisation doit être à peu près proportionnelle à σ^2, qui est ici excessivement faible par rapport aux expériences de M. Mascart; la quantité v doit donc être sensiblement indépendante de σ dans mes expériences.

En considérant v comme une constante pendant une même expérience, l'intégration de la relation de définition $v = -\frac{1}{m}\frac{dm}{dt}$ fournit la charge m qui resterait au bout d'un temps t sur le vase plein d'eau, si la seule cause de déperdition électrique était l'évaporation et si la charge de la surface d'eau n'était pas entretenue par un réservoir d'électricité. On aurait ainsi, en appelant m_0 la charge initiale,

$$(9) \qquad m = m_0 e^{-\nu t},$$

D'où, pour la charge perdue pendant le temps t,

$$(10) \qquad m_0 - m = m_0(1 - e^{-\nu t}).$$

Des données de la troisième expérience on tire $v = 0,000422$ et des données de la quatrième $v = 0,000343$, le temps étant exprimé en secondes.

On déduit de (10), pour la perte relative $\frac{m_0 - m}{m_0}$ par le fait seul de l'évaporation, qu'en une heure ($t = 3600$) cette perte relative aurait été, dans les conditions hygrométriques de la troisième expérience, 0,78 et 0,46, dans les conditions hygrométriques de la quatrième (température 19°,6; état hygrométrique $\frac{0,843}{1,697} = 0,5$).

Ce sont des pertes relatives considérables, dont nous verrons l'importance au point de vue de l'électricité atmosphérique.

Remarquons, en passant, que la vapeur émise par une surface électrisée, étant elle-même électrisée, comme cela résulte des expériences précédentes et se trouvant dans un champ électrique ($\varphi = 4\pi\sigma$), doit fuir la surface liquide plus rapidement que dans le cas de la vaporisation du liquide non électrisé. Il en résulte que, dans les couches d'air qui avoisinent la surface du liquide, la force élastique de la vapeur étant moindre, la vaporisation doit être plus active; ainsi s'explique le phénomène découvert par M. Mascart. On voit que la vitesse de fuite de la vapeur due à son électrisation doit être proportionnelle au carré de la densité électrique à la surface du liquide, comme nous l'avons admis plus haut.

Pour savoir quelle était la densité électrique à la surface de l'eau électrisée, il me suffisait d'ajouter aux mesures précédentes celle de la capacité C du système isolé. Pour cela, le système étant chargé et la déviation D_0 de l'aiguille de l'électromètre étant observée, je touchais le système isolé avec un fil de cuivre communiquant à l'armature isolée d'un condensateur de capacité connue C' [1] dont l'autre armature communiquait avec la conduite de gaz. La lecture

---

[1] Ce condensateur était constitué par deux cylindres de laiton coaxiaux ayant : le cylindre inférieur $3^{cm},394$ de diamètre et $20^{cm},37$ de longueur, le cylindre extérieur $6^{cm},443$ de diamètre intérieur et 35^{cm} de longueur environ. L'espace compris entre les deux cylindres était rempli de paraffine. La capacité était donnée d'une façon suffisamment approchée par

$$C' = \frac{Kl}{2L\frac{R_1}{R_2}} = \frac{2,28 \times 20,37}{2L\frac{6,443}{3,394}} = 36,2 \text{ U. Es.}$$

de la nouvelle déviation D permettait d'obtenir C par la relation

$$\frac{C}{C'} = \frac{\sqrt{D_1}}{\sqrt{D_0} - \sqrt{D_1}}.$$

C étant connu, la charge totale $M = CV$ du système isolé était connue par la détermination de V fournie par l'électromètre. De la valeur de M et de la valeur connue de $\frac{m}{M}$, on déduisait la charge m de la surface d'eau électrisée, d'où la densité σ.

J'ai trouvé ainsi que la densité correspondant à la charge initiale fournie par 116 volts était 0,00633 U . E*s*. Or la charge moyenne du sol dans un endroit découvert est environ 0,0008, c'est-à-dire le huitième seulement de la densité au début de l'expérience.

II

Quelques auteurs ont pensé que l'évaporation de l'eau pouvait créer de l'électricité, la vapeur emportant une des électricités et l'autre restant sur le liquide. Tous les expérimentateurs qui ont bien conduit leurs expériences ont trouvé un résultat négatif à ce sujet.

J'ai essayé de mettre en évidence cette prétendue électrisation par évaporation, en faisant communiquer le vase isolé plein d'eau des expériences précédentes avec l'aiguille de l'électromètre, les deux paires de quadrants étant à des potentiels égaux et de signe contraire par rapport au sol.

Le résultat a été négatif, et la précision de mes expériences permet de dire que :

Si en deux heures la vaporisation de l'eau à 18°,9 ($F_{18,9} = 1^{cm},625$ de mercure) *dans un air où la force élastique de la vapeur d'eau est équilibrée par* $0^{cm},689$, *donnait par centimètre carré une quantité d'électricité égale à* 0,0007 U . E*s*, *cette quantité d'électricité aurait été nettement mise en évidence.*

Une si faible création d'électricité, si elle existe, ne pouvait pas fausser d'une façon sensible les expériences précédentes.

III

Examinons maintenant les conséquences des expériences que nous venons d'exposer au point de vue météorologique.

Après le lever du Soleil, le sol humide s'échauffe, l'eau qui l'imbibe se vaporise et transporte dans l'atmosphère une partie de la charge du sol. Or, si l'on admet, ce qui est fort vraisemblable, qu'en un point A situé à une grande distance verticale au-dessus du sol, le champ électrique n'est pas modifié par ce phénomène, on en conclut, d'après le théorème de Gauss appliqué à un tube de forces allant de A au sol, que la charge totale contenue dans le tube doit rester constante; par conséquent *une portion du sol perd exactement la quantité d'électricité qui est transportée par la vapeur qu'elle émet dans l'atmosphère, sans que celle-ci soit récupérée, même partiellement, par la conductibilité du sol.* Si donc la vaporisation se fait, par exemple, dans les conditions de température et d'état hygrométrique de mes expériences, il résulte de celles-ci qu'en moins de deux heures le sol aura perdu ainsi la moitié de sa charge. La densité électrique σ étant devenue moitié moindre, le champ électrique φ près du sol sera devenu aussi moitié moindre ($\varphi = 4\pi\sigma$). Les appareils enregistreurs des observatoires météorologiques mesurent précisément les variations du champ électrique φ dans le voisinage du sol. Or on constate sur les moyennes que, conformément à ces prévisions, toujours dans les saisons et les pays ensoleillés, la courbe du champ électrique présente un minimum pendant les heures chaudes de la journée.

Inversement, après le coucher du soleil, la condensation sur le sol de la vapeur lui ramènera la charge de celle-ci, ce qui doit augmenter le champ électrique. On constate, en effet, que le maximum de sept à huit heures du soir est plus accentué et un peu reculé dans les saisons et les pays ensoleillés.

Je me hâte d'ajouter que, si la vaporisation de l'eau explique complètement, conformément du reste aux vues de Peltier [1], le minimum de jour, elle ne saurait expliquer la plus constante et la plus importante variation du champ électrique dans l'espace de vingt-quatre heures, qui présente un minimum vers quatre heures du matin et un maximum entre sept et huit heures du soir. Ce phénomène est dû à une cause encore inconnue. L'effet de la vaporisation se superpose à l'effet de cette cause.

D'après les observations de M. Chauveau, tandis que le minimum de jour est très marqué au Bureau central météorologique, il est à

---

(1) *Loc. cit.*

peine indiqué par un crochet de la courbe au sommet de la tour Eiffel. Ainsi le transport de l'électricité par la vapeur dans les basses couches de l'atmosphère ne fait pas varier sensiblement le champ électrique au sommet de la tour. Il faut en conclure que la vapeur émise par le sol, entre sa formation le matin et sa condensation le soir, ne dépasse pas, ou ne dépasse qu'en très faible quantité la hauteur de 300 mètres par diffusion.

IV

En terminant, j'appellerai l'attention des météorologistes sur les effets que peuvent produire les fumées qui s'échappent des cheminées d'une ville.

On sait, depuis Lavoisier, qu'un corps, en brûlant, produit de l'électricité; les fumées qui s'échappent sont chargées d'une électricité, et le corps qui brûle prend l'autre électricité. Beaucoup de physiciens, Pouillet entre autres, ont mis ce fait hors de doute.

J'ai répété ces expériences en faisant brûler des corps qui produisaient de la fumée (amadou, tabac, copeaux de bois, coton imprégné d'essence de térébenthine) sur le support isolant des expériences précédentes communiquant avec l'aiguille de l'électromètre (méthode hétérostatique).

Dès que la fumée se produit, on voit l'aiguille dévier.

Quand la combustion se fait au fond d'un long tube de laiton, percé de trous dans le bas pour permettre le tirage, ce qui imite mieux ce qui se passe dans une cheminée, l'aiguille ne commence à dévier que lorsque la fumée commence à sortir du tube, conformément aux propriétés du cylindre de Faraday [1].

La fumée produite par l'amadou, le tabac et l'essence de térébenthine est chargée négativement; la fumée produite par des copeaux de peuplier est chargée positivement.

Les fumées forment souvent au-dessus d'une grande ville un nuage visible. Ce nuage est électrisé et doit agir sur les appareils

---

[1] Ces expériences sont très différentes de celles que j'ai publiées en 1885 sous le nom de *forces électromotrices de combustion* (*J. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 254). Dans celles-ci, la flamme très courte et sans fumée du gaz d'éclairage ou de l'hydrogène établissait une différence de potentiel *constante* entre le bec et l'enceinte métallique qui l'entourait; l'ensemble formait une véritable pile. Ici, au contraire, la charge du support où se fait la combustion croîtrait indéfiniment, si la fumée se produisait indéfiniment.



enregistreurs. Ceux-ci peuvent donc donner des indications différentes de celles que donnerait un appareil placé en pleine campagne, loin de toute habitation ([1]).

Spectroscope à déviation fixe ;

Par MM. Ph. Pellin et André Broca.

On sait que, quand un rayon a traversé un prisme au minimum de déviation, il prend, par une réflexion sur un miroir solidaire du prisme, une direction fixe indépendante de sa couleur. Ceci se comprend immédiatement, car la direction d'un rayon qui a traversé un prisme au minimum de déviation est la même que s'il s'était réfléchi sur sa base. Si donc on lui fait subir une réflexion, tout se passera comme si le rayon s'était réfléchi sur deux miroirs angulaires. Le rayon final fera avec le rayon incident un angle double de l'angle des deux miroirs.

Ceci a été fréquemment employé pour les recherches bolométriques où on veut avoir une dispersion bien déterminée, et un appareil récepteur fixe. Pour réaliser ces conditions, il suffit de faire tourner un système composé d'un prisme et d'un miroir solidaires pour amener successivement sur le bolomètre les radiations dispersées dans les conditions bien définies du minimum.

Sous cette forme, l'appareil est inutilisable pour un spectroscope pratique, car les miroirs en verre argenté donnent une mauvaise image, et les miroirs métalliques sont vite hors d'usage. Il fallait donc chercher à obtenir un prisme donnant à l'intérieur une réflexion totale, de manière à réaliser la déviation fixe sans miroir altérable. Démontrons d'abord que dans ces conditions la propriété de la déviation fixe correspondant au rayon réfracté deux fois sous l'angle convenable est conservée.

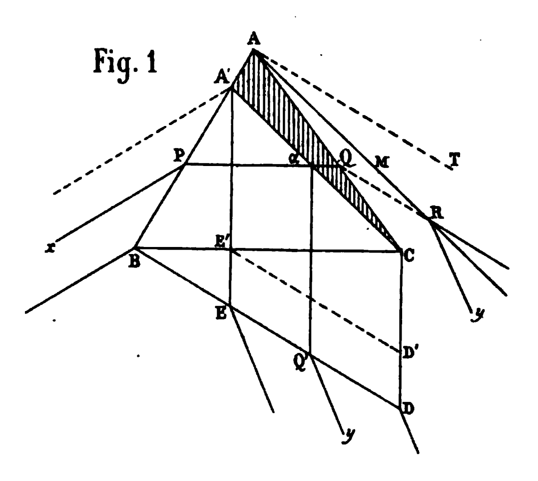
Soit (*fig.* 1) un prisme de 60°, ABC, et un miroir M. Considérons le

---

([1]) M. Chauveau (*Bulletin des Séances de la Société française de Physique*, 1898) a indiqué les perturbations énormes produites sur les appareils enregistreurs de l'électricité atmosphérique par la fumée blanche (vapeur condensée), qui sort du tuyau des locomotives passant à 300 ou 400 mètres de l'observatoire. Cette vapeur est fortement électrisée par le phénomène d'Armstrong.

([2]) Séance du 20 janvier 1899.

rayon xPQRy, et cherchons à remplacer la réflexion extérieure M par une réflexion totale. Il faudra que le rayon émergent soit dirigé suivant Ry; il faudra donc, puisque nous remplaçons QR par son symétrique par rapport à M, et puisque nous voulons conserver le même angle de réfraction Q, que nous prenions comme face de sortie une face symétrique de AC par rapport au miroir M. Il faudra donc que nous prenions une face parallèle à AT. Dans ces conditions, on voit que le rayon qui se sera réfracté deux fois sous le même angle en P et Q′ jouira exactement des mêmes propriétés que s'il s'était réfracté en P et Q sur le prisme BAC.



Coupons donc un prisme de 60° par un plan A′C, tel que l'angle BCA′ soit de 45°, ce qui donne BA′C = 75°; accolons-lui un prisme rectangulaire BCD à angles aigus de 30° et 60°, et nous aurons construit un prisme à réflexion intérieure et déviation fixe de 90° équivalent à un prisme de 60°. Il est d'ailleurs aisé de voir, puisque les angles DQ′y, xPB sont égaux, que les faces A′B, BD doivent être rectangulaires.

Pour la construction, il suffit de limiter les faces à la partie utile. Si donc nous admettons l'ouverture d'entrée BA′, nous aurons un prisme bien utilisable en accolant à BA′C le prisme E′CD′. Mais ceci exige un collage qui est toujours à éviter. Nous nous sommes alors arrêtés à la solution qui consiste à tailler d'un seul bloc BACD. On augmente un peu ainsi l'épaisseur traversée, mais en même temps on supprime tout collage, ce qui vaut mieux.

Le prisme ainsi réalisé permet la construction d'un spectroscope

très commode. Il suffit en effet d'avoir le collimateur et la lunette fixés à 90° l'un de l'autre. En faisant tourner le prisme, les raies spectrales seront toujours au minimum de déviation au moment où elles passeront au réticule de la lunette. Elles seront donc toujours dans les meilleures conditions de netteté.

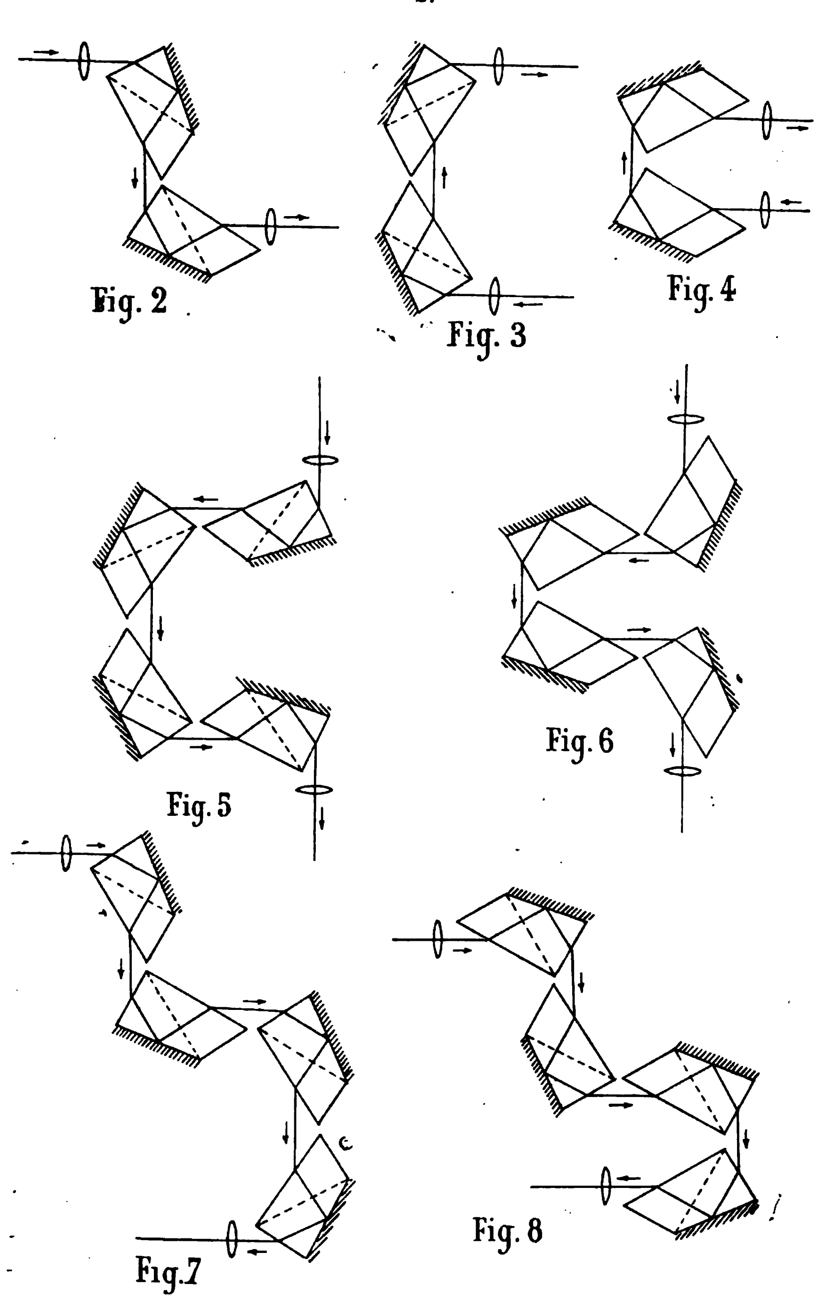
La mise au minimum d'une raie s'obtient par un seul mouvement, et la fixité de la lunette simplifie la construction et la manœuvre de l'instrument. Il suffira en effet d'avoir un objectif bien achromatique pour pouvoir, par exemple, mettre au point la chambre photographique sur la raie D, et amener ensuite une région déterminée de l'ultra-violet au minimum et au point même où était la raie D par une simple rotation du prisme.

On voit immédiatement que le prisme que nous venons de construire fait tourner de 90° à droite le rayon qui a traversé dans les conditions du minimum. Nous l'appellerons prisme dextrogyre. Si le même prisme travaillait en sens inverse, recevant la lumière sur sa grande face et sous l'angle convenable, il serait lévogyre. On peut d'ailleurs considérer la perversion du prisme ainsi construit, c'est-à-dire le prisme obtenu, en le renversant le haut en bas, et on verrait que ce nouveau prisme est dextrogyre lorsqu'il reçoit la lumière par sa grande face et lévogyre en sens inverse.

La propriété de la déviation fixe se prête avec la plus grande simplicité à la construction du spectroscope à plusieurs prismes. On voit alors que, si l'on veut obtenir la dispersion de la lumière, il faut mettre à la suite l'un de l'autre deux prismes qui soient la perversion l'un de l'autre.

Chacun de ces prismes produira la rotation de 90°, soit dans un sens, soit dans l'autre, suivant qu'on le fera fonctionner dans un sens ou dans l'autre. Voyons quelles sont les solutions admissibles pour les divers nombres de prismes.

Pour le spectroscope à un seul prisme, on peut employer une quelconque des positions du prisme. Pour deux prismes, on peut réaliser soit la vision directe avec parallaxes (*fig.* 2), soit le parallélisme du collimateur et de la lunette comme le montrent les *fig.* 3 et 4. Dans cette disposition, l'opérateur a la fente et la lumière à une vingtaine de centimètres de lui. D'ailleurs, en prenant une lunette de plus longue distance focale que le collimateur, on peut placer la lumière et la fente à la distance qu'on juge le plus convenable. Dans les deux cas, les mouvements des prismes s'obtiennent en les faisant


Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8

tourner autour de centres fixes situés sur une perpendiculaire à la direction des lunettes, au moyen de deux tiges mues par une même vis fixe.

Si on veut opérer avec trois prismes, on aura toujours la vision rectangulaire, soit à droite, soit à gauche. D'ailleurs le spectroscope à trois prismes peut procéder soit de la forme (2), soit de la forme (3), soit de la forme (4). Le plus commode est celui qui dérive de 4.

On peut enfin opérer avec quatre prismes et obtenir au choix soit la vision directe (*fig.* 5), soit la vision analogue à celle de la *fig.* 3 avec la fente sous la main. Il y a, de chacune de ces deux questions, deux solutions, représentées en 5, 6, 7, 8.

Dans toutes ces solutions il suffit, pour avoir toujours les prismes dans la position convenable, de les faire tourner alternativement en sens contraire, ce qui est toujours aisément réalisable au moyen d'une vis sans fin portant un filetage à droite et un à gauche, ou, dans le cas des dispositions à fente et oculaire voisins, deux filetages à droite et deux à gauche. On voit facilement que les faces sont toujours utilisées complètement.

On peut d'ailleurs, en amenant la lunette à des positions fixées d'avance par des repères, observer avec $(p - 1)$ prismes, si on enlève celui d'ordre p.

Dans cet instrument, une raie spectrale est déterminée par la position des prismes pour laquelle elle passe au réticule. L'angle dont tourne le spectre pour une rotation α des prismes est égal à 8α. Nous aurons donc la mesure de cette rotation avec une précision égale à la sensibilité par l'image d'un micromètre réfléchie une fois sur chacun des prismes réfringents. Nous avons réalisé ceci au moyen des prismes à réflexion totale placés au-dessus de chacun des trois premiers prismes réfringents. Un prisme à double réflexion totale descend le rayon pour utiliser comme face réfléchissante la dernière face réfringente du dernier prisme. De la sorte la lunette d'observation sert à mesurer la rotation. Si, d'ailleurs, il y a une erreur quelconque dans le mouvement des prismes, le système de lecture sera affecté exactement comme le déplacement des spectres et une radiation sera toujours caractérisée par la division du micromètre, qui coïncidera avec elle au point voulu.

Dans les conditions 5 ou 7, on peut avoir un mouvement du micromètre dans le sens du spectre, si le prisme rectangle à double réflexion totale est fixe. S'il participe au mouvement du quatrième prisme

dispersif, le mouvement du micromètre sera en sens inverse de celui du spectre. Le pointé au réticule n'en sera pas affecté; mais le système à mouvement direct est préférable.

De ces instruments nous avons réalisé le type n° 5, qui fonctionne parfaitement. L'instrument permet de chercher une région des spectres en se servant d'un seul prisme et de l'étudier ensuite avec les quatre prismes. Il suffit d'ailleurs d'employer le système de l'autocollimation, et un miroir à la place du collimateur primitif pour réaliser la dispersion de huit prismes.

Ces instruments semblent appelés à faciliter les recherches des chimistes, et à leur permettre d'employer des dispersions plus considérables que celles qu'ils emploient actuellement à cause de la possibilité d'avoir une lecture dont la précision est du même ordre que la dispersion.

Sur le grand sidérostat de 1900;

Par M.-P. Gautier [1].

I

Grâce à l'initiative de M. François Deloncle, ministre plénipotentiaire, un groupe d'amateurs d'astronomie a décidé de faire figurer à l'Exposition prochaine un instrument d'une puissance exceptionnelle, se prêtant aussi bien aux mesures de haute précision qu'aux observations physiques les plus délicates.

La science serait ainsi dotée d'un moyen d'investigation permettant aux astronomes de pénétrer plus avant dans les profondeurs des espaces célestes, et de fournir quelques renseignements nouveaux sur la constitution physique de notre système planétaire.

Pour atteindre ce but, il a été convenu de munir cet instrument d'objectifs de $1^{m},25$ de diamètre; mais, afin de tirer tout le parti possible de lentilles aussi considérables, on a résolu de ne pas subordonner le travail optique aux difficultés de l'exécution mécanique,

---

(1) Séance du 3 février 1899. — Nous devons à l'obligeance de M. Gauthier-Villars les *fig.* 6, 7, 8, 9 et 11, qui accompagnent cet article.



ainsi qu'on a été presque toujours obligé de le faire jusqu'à présent dans la construction des grandes lunettes.

On s'est imposé, cette fois, la condition essentielle de ne pas amoindrir la distance focale, et il a été arrêté qu'on donnerait à la nouvelle lunette la distance focale considérable de 60 mètres, afin d'obtenir dans les images un achromatisme aussi satisfaisant que possible.

Mais, si l'on veut réaliser, suivant les plans usuels, une lunette d'aussi grande dimension, on constate immédiatement qu'on se trouve en présence de difficultés de tout genre et pour ainsi dire insurmontables.

La partie mécanique serait en effet d'un poids tel que son obéissance aux mouvements lents et sa stabilité auraient été compromises.

La coupole, à laquelle il faudrait donner alors un diamètre de 64 mètres aurait dû être constamment en mouvement pour maintenir son ouverture en regard de l'objectif marchant avec une vitesse de près de 16 mètres à l'heure. Et, dans ce cas, à quelle gymnastique ne faudrait-il pas soumettre l'observateur pour arriver à l'oculaire ?

En vue d'éviter tous ces obstacles et des dépenses considérables d'installation, pour acquérir une plus grande stabilité, et en outre affranchir l'astronome de fatigues inutiles et de sérieuses pertes de temps, le sidérostat de Foucault a été adopté comme étant une monture très avantageuse pour l'emploi d'une distance focale aussi notable.

Cette monture rend toute installation spectroscopique ou photographique facile à l'oculaire ; l'observateur n'a plus à se déplacer, la lunette étant toujours dans la même position ; les conditions atmosphériques y sont plus uniformes ; l'objectif, conservant toujours la position verticale, est moins susceptible de flexion ; la partie mobile est moins volumineuse.

La disposition choisie permet en effet de se livrer à un certain nombre de recherches ; mais elle présente cependant encore l'inconvénient de rendre impossible l'exécution de divers travaux relatifs à l'astronomie de haute précision. La difficulté provient du fait qu'en vertu du mouvement diurne la direction apparente des astres dans le champ de la lunette varie d'un instant à l'autre. Comme on le verra plus loin, cet obstacle a été évité dans la nouvelle construction. Le micromètre portant l'oculaire est muni d'un mouvement rotatoire

qui permet de conserver aux images une position invariable par rapport au réticule. Dans ces conditions, l'astronome peut entreprendre dans la région du ciel que le sidérostat lui montre les mêmes mesures qu'à l'aide de la lunette ordinaire montée équatorialement.

Théorie du déplacement du miroir de sidérostat.

En principe, le sidérostat comprend une lunette horizontale (*fig.* 1) et fixe, un bâti supportant le miroir et les organes mécaniques devant lui imprimer son déplacement autour de l'axe polaire.

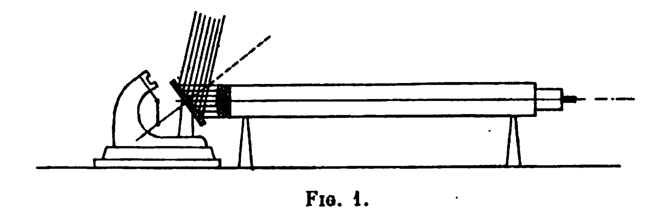


Fig. 1.

Le miroir, après réflexion, dirige les rayons lumineux des astres dans la lunette pour aller former leur image en son foyer, en regard de l'oculaire.

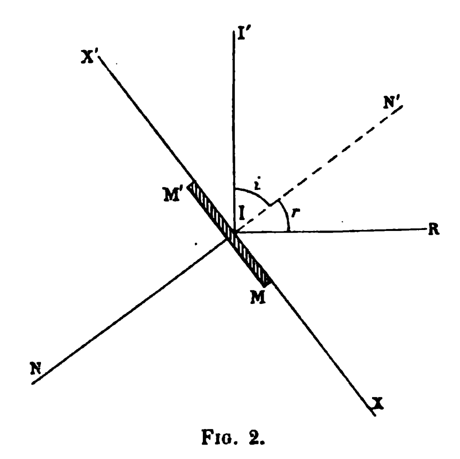


Fig. 2.

Considérons un miroir MM' (*fig.* 2), un rayon incident II' dans le plan du tableau se réfléchissant suivant IR.

Si on fait tourner le miroir MM′ autour de l'axe XX′ situé dans le plan de sa surface et dans le plan normal d'incidence, c'est-à-dire dans le plan du tableau, pour un déplacement angulaire α du miroir autour de cet axe XX′, il faudra que le rayon II′ ait tourné autour de ce même axe de l'angle 2α pour qu'il se réfléchisse suivant la même direction IR. En effet, dans le plan normal au tableau passant par NN′ (*fig.* 3), le plan d'incidence se projette en NN′, et l'axe de

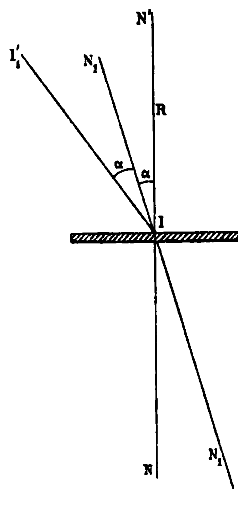


Fig. 3.

rotation en X confondu avec le point I. Lorsque le miroir a tourné de l'angle α autour de XX′, la normale au miroir se projette sur ce plan en IN_1', tel que l'angle $N_1'IN' = \alpha$. Mais dans le nouveau plan d'incidence, le rayon incident est symétrique du rayon réfléchi par rapport à la normale IN_1' ; donc ces deux rayons doivent également se projeter suivant des lignes symétriques par rapport à IN_1' ; or nous avons fait l'hypothèse que IR ne changeait pas de direction, donc le rayon incident se projette en II′, faisant l'angle α avec IN_1' et, par suite, 2α avec NN′.

Si maintenant l'axe XX′ est dirigé suivant l'axe polaire, et II′ le rayon lumineux d'une étoile dont le déplacement autour de l'axe polaire se fait d'un mouvement uniforme et à raison d'un tour en vingt-quatre heures, le miroir MM′ devra tourner, d'après ce qui précède, d'un mouvement uniforme autour du même axe et avec une

vitesse moitié moins grande, c'est-à-dire à raison d'un tour en quarante-huit heures.

Dans ces conditions, le rayon réfléchi IR restera toujours dans une direction fixe.

Telle est la loi du déplacement du miroir dans le sidérostat pour un parallèle qui sera déterminé ultérieurement.

Voyons maintenant comment ce mouvement se trouve pratiquement réalisé de façon que la direction IR (*fig.* 4) soit celle de la lunette, c'est-à-dire horizontale.

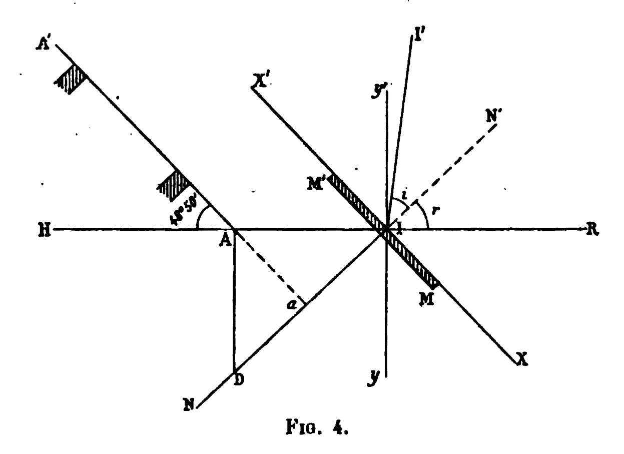


Fig. 4.

Pour plan vertical, prenons le plan du méridien, et dans ce plan l'axe polaire AA' dirigé suivant l'axe du monde.

Cet axe porte à son extrémité A et à angle droit un second axe portant un troisième axe AD dans le prolongement du premier, à l'extrémité duquel peut osciller un manchon glissant le long de la tige NN' normale au miroir M (*fig*. 6).

Ce dernier peut osciller autour du centre I et tourner autour de l'axe vertical YY', et son centre I est situé sur la même ligne horizontale que A.

L'axe perpendiculaire à AA' en A est l'axe de déclinaison.

L'angle que fait AD avec l'axe polaire est le complément de l'angle de déclinaison.

Inclinons le miroir de façon que XX' soit parallèle à l'axe polaire.

Soit II' la direction des rayons lumineux d'une étoile à son passage au méridien ; le complément de son angle de déclinaison est

mesuré par l'angle de II' avec l'axe polaire, et par l'angle de AD avec ce même axe, donc AD et II' sont parallèles.

Or le triangle ADI est isocèle, car l'angle en I est égal à l'angle de réflexion, et l'angle en D est égal à l'angle d'incidence ; donc ces deux angles sont égaux, et AD = AI.

La longueur du bras de la déclinaison doit être égale à la distance horizontale entre l'axe de déclinaison et le centre du miroir.

Dans ces conditions, si on anime l'axe AA' d'un mouvement de rotation uniforme et de même vitesse que le mouvement diurne, c'est-à-dire faisant un tour en vingt-quatre heures, le miroir tournera bien autour de l'axe XX' parallèle à AA' d'un mouvement uniforme et avec une vitesse moitié moindre, c'est-à-dire faisant un tour en quarante-huit heures.

En effet, si nous projetons sur le plan perpendiculaire au tableau passant par NN' (*fig.* 5), c'est-à-dire le plan de l'équateur, l'axe AA' se projette en *a*, et AD en *a*D.

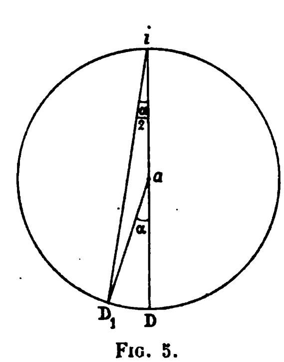


Fig. 5.

Sur ce plan, lorsque AD tourne autour de AA', *a*D décrit une circonférence ayant *a* pour centre ; d'ailleurs ADI étant isocèle et DI étant perpendiculaire à AA', *a*D = *a*I, et I se projettera en *i* sur la circonférence *a*D à l'extrémité de ce diamètre.

Lorsque AD tourne d'un angle α en se projetant en aD_1, la normale NI a tourné de l'angle $\frac{\alpha}{2}$, puisqu'en effet elle se projette suivant *i*D, et que l'angle $DiD_1 = \frac{\alpha}{2}$.

Donc, pour le parallèle correspondant au rayon II', le miroir réfléchit bien l'étoile et sa ligne méridienne suivant la verticale passant par l'axe de la lunette.

Si nous déterminons géométriquement ce parallèle, nous voyons que le complément de son angle de déclinaison MII′ est justement égal à la latitude du lieu A′AH, angle de l'axe polaire avec l'horizon.

Pour toute autre parallèle, la normale au miroir ne se meut plus dans un plan perpendiculaire à l'axe polaire, mais décrit un cône de sommet I et dont la base est la circonférence décrite par l'extrémité D de la barre de déclinaison.

La démonstration précédente n'est donc plus applicable.

Pendant le mouvement de AD autour de AA′, cette droite ne cesse pas d'être parallèle à la direction II′ (*fig.* 4), puisque ces deux directions tournent autour de AA′ avec la même vitesse en faisant un tour en vingt-quatre heures; pendant ce mouvement le plan normal d'incidence ADII′ tournera autour de la direction fixe AI, et dans ce plan, le triangle ADI étant toujours isocèle, la normale IN est toujours la bissectrice de l'angle I′IR, et par suite IR est la direction invariable suivant laquelle se réfléchit II′ pendant sa rotation autour de l'axe polaire.

Donc, pour tous les parallèles, l'image d'une étoile que l'on aura amenée dans l'oculaire derrière la croisée de fils du réticule restera dans cette position pendant toute la durée du mouvement diurne de l'étoile autour de l'axe polaire.

Si on observe, dans le champ de l'oculaire, la région étoilée voisine de l'étoile pointée comme précédemment, on remarque que, pendant le mouvement de l'instrument, le champ observé subit un déplacement angulaire autour de l'étoile pointée, par rapport au réticule fixe de l'oculaire.

Dans le cas particulier où l'étoile observée décrit le parallèle déterminé précédemment, ce déplacement est nul, puisque l'image de la ligne méridienne de l'étoile coïncide toujours avec la croisée de fils du réticule.

Pour les parallèles plus voisins du pôle, la rotation a lieu en sens inverse du mouvement diurne.

Pour ceux plus voisins de l'équateur, au contraire, la rotation a lieu dans le sens du mouvement diurne.

Les déplacements angulaires du champ dans l'oculaire seraient nuisibles pour les observations visuelles et davantage pour la photographie.

Pour y obvier, il a fallu prévoir un dispositif mécanique spécial

pour imprimer à l'oculaire un mouvement de rotation égal et de même sens que celui du champ.

Les vitesses de rotation étant variables pour chaque parallèle, la transmission doit pouvoir se différentier graduellement en passant par tous les intermédiaires compris entre les limites extrêmes observées.

Un tableau numérique de ces déplacements angulaires observés pour tous les parallèles, heure par heure, jusqu'à cinq heures du méridien, a permis de fixer des proportions des organes mécaniques devant servir à cette transmission et devant assurer parfaite l'immobilité complète sur la plaque photographique de la région du ciel observée.

II

Description du mécanisme du sidérostat. — Le sidérostat de 1900 comprend :

Un grand bâti en fonte supportant le miroir et les axes devant lui imprimer son déplacement et une lunette en tôle d'acier placée horizontalement sur des supports en maçonnerie, de manière à avoir le centre de la lunette correspondant au centre du miroir.

Le plan médian de l'appareil est disposé suivant le plan méridien du lieu d'emplacement.

Le grand bâti en fonte supporte deux parties mobiles principales :

Du côté nord et à la partie supérieure de l'instrument est l'axe polaire A (*fig.* 6) à l'extrémité duquel se meut l'axe de déclinaison D ayant un mouvement à angle droit du premier.

Du côté sud, le support J du miroir tournant autour d'un axe vertical.

Le bâti se compose de sept pièces de fonte assemblées par des boulons vissés sur les brides d'attache qui ont été ménagés après chaque pièce à l'intérieur du bâti. Il pèse 22.500 kilogrammes.

L'*axe polaire* est constitué par un arbre en fonte creux ; cet arbre repose sur quatre galets dont les axes sont fixés à l'extrémité des montants de la pièce de fonte, située à l'extrémité du bâti.

Ces galets sont disposés par couple de deux, leurs axes étant disposés parallèlement à l'axe polaire.

Sur le milieu de cet arbre est calé un cercle portant un engrenage cylindrique destiné à donner les mouvements rapides à l'axe polaire.

Ce cercle engrène avec un pignon recevant par une transmission

le mouvement d'une manivelle située à la base du socle et qui permet de donner la position horaire utile.

A une faible distance de ce cercle se trouve un second cercle C à denture hélicoïdale engrenant avec une vis actionnée par le mouvement d'horlogerie ; ce second cercle est fou sur l'arbre et peut en devenir solidaire au moyen d'une pince l'embrayant avec le premier cercle fixé sur l'arbre.

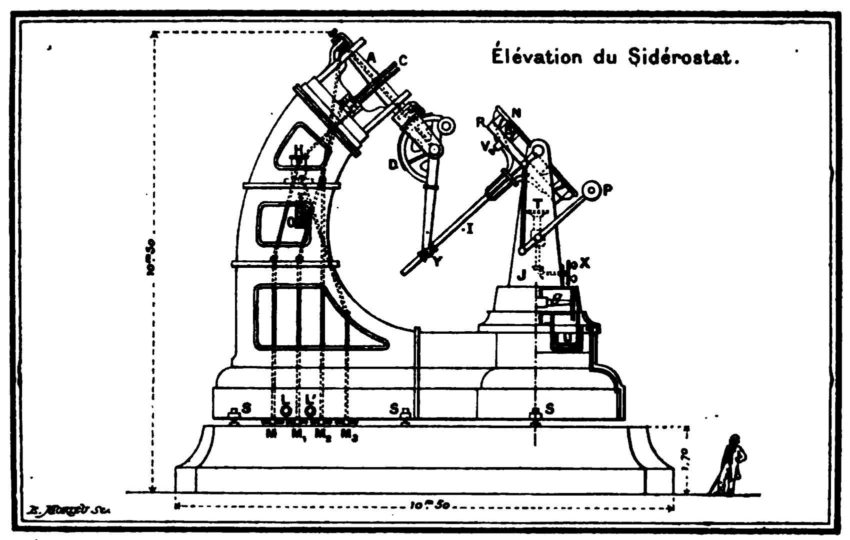


Fig. 6.

A, Axe horaire. — C, Cercles dentés de l'axe horaire. — D, Cercle denté de déclinaison. — H, Mouvement d'horlogerie actionnant le cercle C. — O, Poids moteur du mouvement d'horlogerie. — N, Miroir. — B, Barillet du miroir. — V, Vis permettant de sortir le miroir de son barillet. — R, Culasse du miroir. — I, Axe de direction du miroir. — Y, Manchon glissant sur la tige I. — P, Contrepoids équilibrant le miroir. — J, Support du miroir. — U, Cuve de mercure faisant flotter le support J. — T, Treuil servant à élever la cuve pour l'argenture du miroir. — X, Manivelle du treuil T. — *g*, Galets de roulement du support J. — S, Vis de réglage du sidérostat. — M, Manivelle de la vis tangente du cercle horaire. — M_1, Manivelle des grands déplacements du cercle horaire. — M_2, Manivelle de la déclinaison. — M_3, Manivelle-remontoir du mouvement d'horlogerie H. — L, Lunette servant à la lecture du cercle horaire. — L', Lunette servant à la lecture du cercle de déclinaison.

Cette pince est commandée de la base de l'instrument.

En outre, ce second cercle denté porte sur une de ses faces un limbe en argent divisé sur une partie de sa circonférence.

C'est la division en ascension droite.

Cette division est faite en heures et en minutes; la chiffraison en est faite de quinze en quinze minutes; les heures sont indiquées par de plus gros chiffres.

Le mouvement d'horlogerie disposé en haut et à l'intérieur du bâti est mû par un poids moteur; il transmet le mouvement à la vis tangente engrenant avec le cercle à denture héliçoïdale, de façon à faire tourner l'axe polaire d'une vitesse uniforme, à raison d'un tour par vingt-quatre heures.

Cet arbre, étant incliné suivant la latitude du lieu qui, à Paris, est 48° 50′, est soutenu par une crapaudine s'appuyant contre un grain d'acier fixé à la face supérieure de son support.

A l'extrémité de l'axe polaire est fixé le support en fonte en forme d'U, sur les branches duquel sont fixés les coussinets contenant les tourillons de l'*axe de déclinaison*.

Cet axe est composé d'une douille en fonte dans laquelle peut tourner un troisième axe portant à son extrémité inférieure une pièce d'acier en forme d'U.

Un arc D venu de fonte avec la douille porte sur sa tranche une denture en bronze et un limbe en argent.

Ce demi-cercle à denture héliçoïdale engrène avec une vis tangente mue, au moyen d'une transmission d'engrenages, par une manivelle placée à la base du sidérostat. Cet arc sert à caler l'axe de déclinaison suivant le parallèle déterminé.

Le limbe en argent fixé sur cet arc est divisé de cinq en cinq minutes d'arc, c'est-à-dire en douzièmes de degré; un vernier au dixième permettra de lire la division avec une approximation de trente secondes.

La lecture de ce limbe indique la déclinaison du parallèle suivi par l'instrument.

Lorsque l'axe de déclinaison est incliné suivant un parallèle donné, il ne doit pas se déplacer angulairement pendant la rotation de l'axe polaire par le mouvement d'horlogerie. Un embrayage à griffe placé dans le haut du bâti permet de rendre le cercle de déclinaison indépendant de toute sa transmission jusqu'à la base du sidérostat, pendant la marche de l'instrument, et d'assurer ainsi complètement la fixité absolue de sa position angulaire. Cet embrayage se commande également de la base de l'instrument.

La pièce à deux branches qui termine la barre de déclinaison porte par deux coussinets les tourillons d'un manchon en bronze Y

glissant sur la tige cylindrique I en cuivre fixée au centre de la culasse du miroir.

Ce manchon en comporte un deuxième concentrique pouvant tourner autour de son axe par l'intermédiaire de galets.

Ce deuxième manchon est lui-même porteur de galets disposés parallèlement à l'axe. Cette disposition a pour but de substituer au glissement du manchon sur la tige deux roulements, l'un angulaire, l'autre suivant l'axe normal du miroir.

Ce premier ensemble mobile se déplaçant autour de l'axe polaire sur les quatre galets fixés au haut du bâti pèse 2800 kilogrammes. La deuxième partie mobile comprend *le miroir et son support* vertical à la partie sud du bâti.

Le support J du miroir est en fonte et présente deux branches verticales entre lesquelles se meut le miroir.

Ce support se déplace autour d'un axe vertical en roulant par sa base sur un système de trois galets *g* indépendants, se déplaçant entre deux chemins circulaires; l'un des chemins est ménagé dans le bâti, l'autre dans le support.

En outre, la partie inférieure du support flotte dans une cuve annulaire U fixée au bâti, contenant 100 litres de mercure ; le volume de la partie immergée étant calculé de manière que la charge portée par le mercure soit les 9/10 du poids total du support avec le miroir.

Le barillet B du miroir repose par ses tourillons sur deux couples de deux galets, chaque couple étant fixé à l'extrémité des branches du support vertical J.

Le miroir N a 2 mètres de diamètre, 28 centimètres d'épaisseur et pèse 3.000 kilogrammes ; il est ajusté dans le barillet et repose par sa face non réfléchissante sur la culasse R en fonte boulonnée sur son pourtour après la face inférieure du barillet B.

Au centre de la culasse est boulonnée la tige cylindrique I normale à la surface réfléchissante sur laquelle glisse le manchon de l'axe de déclinaison.

Entre les deux branches de ce support vertical est disposé un treuil T mû par une manivelle X, disposée latéralement et destinée à supporter la cuve devant servir à l'argenture du miroir.

Un système de leviers et de contrepoids P assure l'équilibre du barillet par rapport à son axe horizontal d'oscillation, qui doit passer par la surface argentée.

Le poids de ce deuxième ensemble mobile atteint 13.000 kilogrammes.

A une distance du centre égale à $0^m,80$ l'effort tangentiel à exercer pour produire le mouvement initial de rotation de cet ensemble est de 5 kilogrammes.

La cylindricité des différents axes à l'endroit de leur roulement sur les galets, ainsi que celle de ces derniers, a été vérifiée avec une approximation de $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Le poids total de la partie mobile est de 15.000 kilogrammes; le poids moteur du mouvement d'horlogerie nécessaire pour l'entraînement est 70 kilogrammes.

Réglages de l'instrument. — Pour vérifier la situation relative des différents axes et leur direction, on a procédé aux réglages suivants :

1° Verticalité de l'axe de rotation du support du miroir en agissant sur les six vis calantes par lesquelles repose le bâti sur les dés en fonte disposés sous les vis ;

2° Parallélisme de l'axe polaire avec l'axe du monde en agissant sur les vis de rappel disposées dans son voisinage ;

3° L'axe polaire et l'axe vertical de rotation du support du miroir dans le même plan vertical;

4° Le milieu de l'axe de déclinaison et l'axe horizontal d'oscillation du miroir dans le même plan horizontal;

5° L'axe vertical de rotation du support du miroir passant par le milieu de l'axe horizontal d'oscillation du miroir;

6° Égalité de la distance horizontale entre le milieu de l'axe de déclinaison et l'axe vertical du support du miroir et de la distance entre le milieu de l'axe de déclinaison et le milieu de l'axe du manchon ;

7° L'axe de la tige normale de direction du miroir passant par le milieu de l'axe horizontal de rotation du miroir et par le milieu de l'axe de rotation du manchon.

Manœuvre de l'instrument. — La manœuvre se fait de la base où sont disposées : les deux manivelles d'ascension droite et de déclinaison M_1M_2 ; la manivelle des mouvements lents en ascension droite M par l'intermédiaire du mouvement différentiel adapté au mouvement d'horlogerie; la manivelle-remontoir M_3 du mouvement d'horlogerie ; la commande de la pince d'embrayage du cercle horaire avec l'axe polaire, ainsi que la commande de l'embrayage de l'arc de

déclinaison avec la transmission ; enfin les deux lunettes L et L' servant l'une pour la lecture du cercle horaire, l'autre pour la lecture de l'arc de déclinaison.

L'ensemble de l'instrument pèse 38.000 kilogrammes.

Lunette. — La lunette horizontale a 60 mètres de long et $1^m,50$ de diamètre. Elle est composée de vingt-quatre tubes en tôle d'acier de 2 millimètres d'épaisseur. Elle est fixée et repose sur cinq points d'appui de même hauteur, de façon que son axe se trouve au niveau du centre du miroir. Elle pèse 21.000 kilogrammes.

Devant son ouverture la plus rapprochée du miroir sont les deux objectifs de $1^m,25$ de diamètre, un astronomique, l'autre photographique, disposés sur un socle en fonte roulant sur des rails disposés perpendiculairement à l'axe de la lunette pour amener facilement l'un ou l'autre objectif en regard de la lunette.

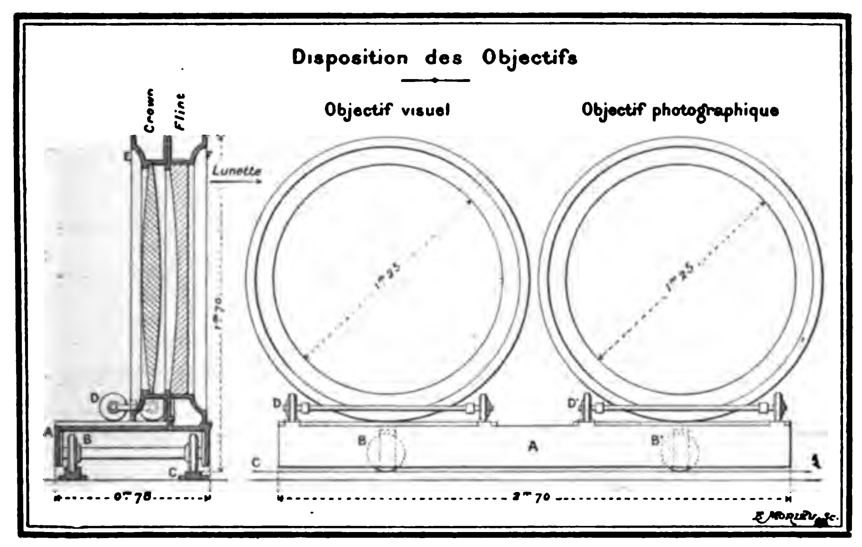


Fig. 7.

A, Socle. — B, B', Roues du socle. — C, Rails. — D, Roues du barillet portant le crown. — E, Barillet du crown. — F, Barillet fixe portant le flint.

Chaque objectif (*fig.* 7) comprend deux lentilles, un crown et un flint, ayant chacune leur barillet ; l'ensemble de chaque objectif pèse 900 kilogrammes.

Le barillet du flint de chaque objectif est fixé au chariot ; le barillet du crown est monté sur roues et guidé sur des rails ; il peut

s'écarter de celui du crown pour pouvoir nettoyer facilement les faces internes des deux lentilles.

Le centrage des deux lentilles de chaque objectif est assuré par l'emboîtement des deux barillets l'un dans l'autre.

A l'autre extrémité de la lunette, c'est-à-dire au foyer des objectifs, est disposé le tube oculaire destiné à grossir ou photographier l'image des étoiles observées.

Oculaire. — Le groupe oculaire se compose d'un tube T (*fig.* 8 et 9) semblable à ceux qui forment la lunette, mais monté sur quatre roues, de façon à faciliter la mise au foyer de la plaque photographique ou de l'oculaire employé, en faisant mouvoir une vis de rappel B.

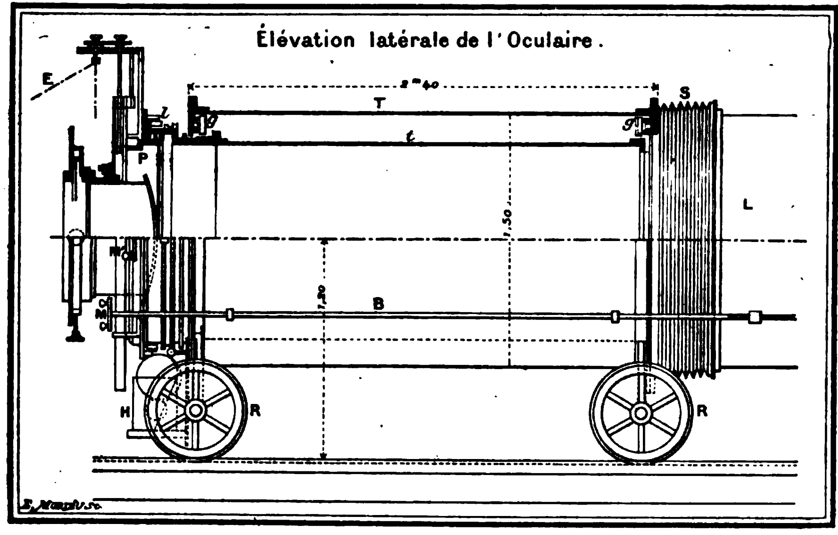


Fig. 8.

T, Tube extérieur. — *t*, Tube intérieur roulant dans le tube T par l'intermédiaire des galets *g*, *g*. — R, Roue du tube oculaire. — S, Soufflet de réunion de l'oculaire au corps de lunette L. — H, Mouvement d'horlogerie entraînant le tube *t*. — E, Tige de transmission allant au mouvement d'horlogerie. — P, Anneau roulant sur les galets *l*. — B, Vis de mise au foyer du tube oculaire. — M, Manivelle de la vis B. — M', Manivelle d'entraînement du tube *t*.

A l'intérieur de ce premier tube, peut rouler sur quatre galets *g* un deuxième tube *t* de $1^{m},20$ de diamètre, supportant le micromètre ou la plaque photographique.

Ce deuxième tube reçoit un mouvement de rotation, pour obtenir l'immobilité du champ par rapport au réticule. Cette rotation de

vitesse, variable suivant les divers parallèles, est commandée par un mouvement d'horlogerie et transmise au tube intérieur par un système de changement de vitesse passant par tous les intermédiaires compris entre les limites extrêmes constatées expérimentalement.

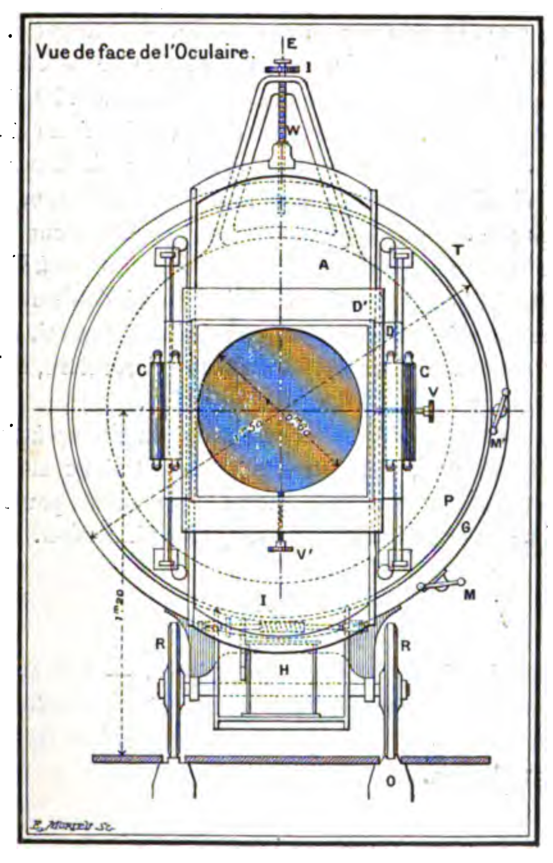


Fig. 9.

A, Chariot animé d'un mouvement rectiligne à l'aide de la vis W, de l'engrenage I et du mouvement d'horlogerie situé dans la direction E. — C, Contrepoids équilibrant le chariot A. — P, Plate-forme mobile. — D, D', Cadres mobiles. — V, V', Vis actionnant les cadres D, D'. — M, Manivelle de mise au foyer. — M', Manivelle d'entraînement du cercle denté G. — G, Cercle denté. — I, Vis tangente du mouvement d'horlogerie H. — R, Roues du tube oculaire. — O, Rails.

Ce deuxième tube intérieur porte quatre galets entre lesquels peut tourner autour de l'axe un cercle permettant l'orientation rapide du

réticule, suivant l'inclinaison voulue pour la mesure des distances entre les étoiles ; une fois le réticule orienté, on rend au moyen d'une pince ce cercle solidaire du tube intérieur. Sur la face externe de ce cercle sont disposées deux coulisses dans lesquelles peut glisser un chariot. Ce chariot a un déplacement rectiligne et uniforme donné par une vis que fait mouvoir un mouvement d'horlogerie.

En immobilisant le miroir, on peut, à l'aide de ce chariot, suivre une étoile pendant son passage dans le champ de la lunette, qui dure deux minutes, avec une grande exactitude, puisqu'on est à l'abri des défauts pouvant venir des organes faisant mouvoir le miroir.

Enfin ce chariot porte deux systèmes de cadre à mouvement rectiligne, à angle droit l'un de l'autre et dirigés chacun par une vis micrométrique, pour pouvoir faire faire directement à l'oculaire les mouvements lents en ascension droite et en déclinaison.

Le cadre supérieur est disposé de manière à pouvoir recevoir soit un châssis pour la photographie, soit un micromètre, soit un spectroscope, soit un appareil pour la projection.

Avec ces nouvelles dispositions, la fixité du champ à l'oculaire est parfaitement assurée, et l'instrument devient d'une stabilité, d'une précision et d'une facilité de manœuvre, qu'on ne pourrait trouver dans des instruments équatoriaux de petite dimension.

III

Dressage mécanique des surfaces optiques. — Les surfaces réfléchissantes employées dans les instruments d'astronomie exigent une très grande perfection pour que les images soient fidèlement rendues après réflexion.

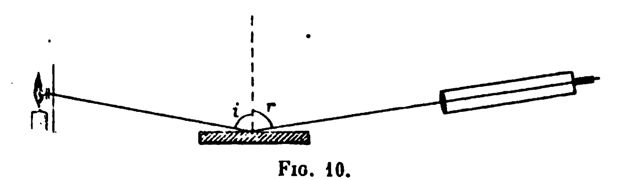


Fig. 10.

On reconnaît qu'une surface est parfaitement plane, par le procédé de Foucault, qui consiste à regarder, dans une lunette (*fig.* 10), l'image réfléchie d'un point rond lumineux.

L'image observée dans la lunette, étant mise au foyer, devra être

ronde, sans déformation aux bords, et présentera tout autour des anneaux de diamètre croissant, alternativement sombres et brillants; ce sont les anneaux de diffraction donnés par l'objectif; en outre, en déplaçant l'oculaire de part et d'autre du foyer, l'image cessera d'être nette, mais restera ronde.

Si la surface est légèrement concave, l'image sera aplatie suivant le diamètre vertical quand on avancera l'oculaire, et allongée suivant ce même diamètre quand on éloignera l'oculaire du foyer. L'inverse a lieu si la surface est légèrement convexe.

Cette méthode a été employée dans le cours du travail du miroir de 2 mètres.

On a pu observer que sa sensibilité était telle que le contact de la main avec la surface pendant quelques secondes suffit à faire en cet endroit une bosse, qui a pour effet de déformer l'image observée dans la lunette. En mesurant cette bosse avec un sphéromètre de précision, on a vu qu'elle atteignait $\frac{1}{3000}$ de millimètre.

Cette méthode optique peut montrer des irrégularités de planéité de l'ordre de $\frac{1}{10000}$ de millimètre.

Pour éviter toute flexion du miroir, à laquelle correspondrait un changement de la surface et, par suite, des déformations de l'image, il faut donner au miroir une épaisseur suffisante, par rapport à son diamètre. On observe généralement le rapport 6 ou 7 entre le diamètre et l'épaisseur, ce qui, pour 2 mètres de diamètre, correspond bien à environ 29 centimètres d'épaisseur. Le poids d'une telle masse est d'environ 3.000 kilogrammes.

Pour travailler mécaniquement une aussi grande surface avec une approximation de $\frac{1}{10000}$ de millimètre, la machine employée devait être suffisamment rigide pour ne pas fléchir sous un poids pareil, et les différents organes qui la constituent devaient être construits avec une précision au moins égale.

La machine (*fig.* 11) comprend un grand bâti en fonte surmonté de quatre supports, au centre duquel se meut, autour d'un axe vertical, le grand plateau en fonte, sur lequel on dispose une épaisseur de flanelle destinée à répartir également le poids du miroir, posé horizontalement sur ce plateau.

Ce plateau est porté en son centre par une crapaudine à vis et

contre-écrou réglables, et glisse en son pourtour sur un guidage circulaire, soigneusement dressé et ayant son plan bien perpendiculaire à l'axe.

Une couronne dentée fixée à ce plateau engrène avec un pignon recevant par poulie et courroie le mouvement de la machine motrice.

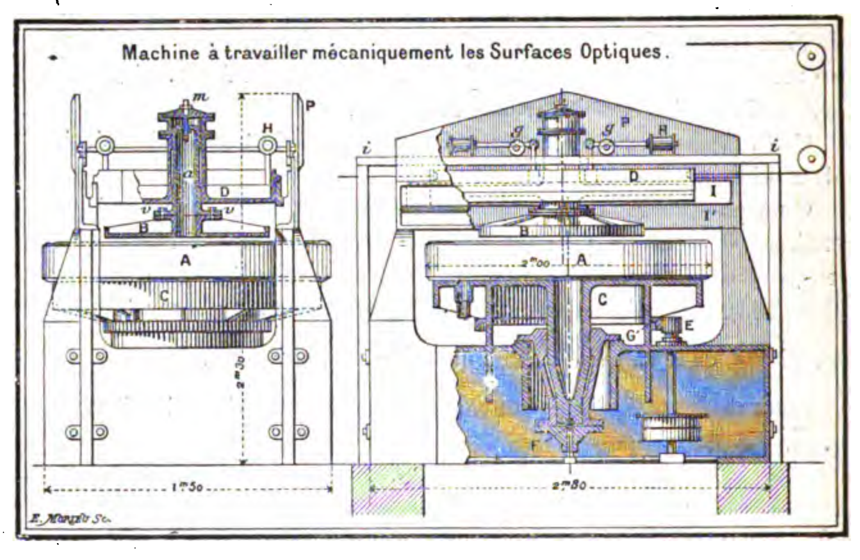


Fig. 11.

A, Verre à travailler. — C, Plateau à mouvement circulaire. — D, Equipage animé d'un mouvement de va-et-vient. — B, Rodoir en bronze. — Engrenage moteur du plateau C. — F, Grain d'acier du plateau C. — G, Chemin de fer circulaire du plateau C. — H, Contrepoids équilibrant D, pour alléger les glissières I'. — I, Glissières mobiles. — I' Glissières fixes. — *i*, Chemin de roulement des galets *g*. — *m*, Vis de descente de l'axe *a* du rodoir B. — *a*, Vis du rodoir. — *v*, Vis de rappel du rodoir.

Le plateau-support du miroir, mis en rotation autour de son axe vertical, fait ainsi deux tours et demi par minute, d'un mouvement aussi uniforme que possible.

Sur les montants verticaux du bâti sont boulonnées deux glissières, disposées parallèlement dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation du plateau, sur lesquelles glissent deux glissières mobiles, supportant le plateau-rodoir et sa monture.

Cet équipage mobile est animé d'un mouvement horizontal rectiligne de va-et-vient et fait environ un double déplacement pendant un tour du plateau.

Pour supprimer les flexions et diminuer le frottement de glissement, les trois quarts de la charge sont supportés par quatre galets de roulement sur deux rails en fer indépendants des glissières.

Le mouvement du plateau, ainsi combiné avec celui du rodoir, engendre une surface dont le profil est la reproduction exacte de celui des glissières.

Pour obtenir le miroir plan de 2 mètres avec la précision voulue, on a dû dresser la face de ces glissières, suivant la ligne droite et avec une approximation de $\frac{1}{10000}$ de millimètre.

Pour obtenir ce résultat, chacune de ces quatre glissières, qui mesure environ $2^m,41$ de long, a été rodée successivement avec deux règles auxiliaires de même longueur.

Ces deux règles auxiliaires épousaient ainsi chacune le profil de la glissière ; en les appliquant l'une contre l'autre, on corrigeait leur flèche respective, et on recommençait le rodage de la glissière, avec successivement chaque règle ainsi corrigée.

On continuait ainsi l'opération jusqu'à ce que les deux règles, rodées chacune une dernière fois sur la glissière, appliquent exactement l'une sur l'autre sur toute leur longueur.

Pour assurer la parfaite application des surfaces, ce dernier rodage a été fait à sec. Ce travail des glissières a duré trois mois.

Le *douci de la surface du miroir* a été obtenu progressivement, en employant des émeris de plus en plus fins, projetés avec de l'eau par un orifice pratiqué au centre du rodoir.

Pour les derniers émeris employés, la distance à observer entre la surface de verre et le rodoir était de $0^{mm},02$, pour ne pas produire de rayures.

Pour assurer le parallélisme du rodoir et de la surface de verre, on fixait sur la tranche du rodoir et à des distances égales quatre comparateurs donnant le $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Avec une règle appliquée contre la face du rodoir, on lisait la position de chaque comparateur par rapport à cette face ; puis, en amenant le rodoir au centre du miroir, on lisait leur position par rapport à la rupture du verre ; la différence des lectures donnait ainsi l'intervalle entre les deux faces, que l'on réglait par trois vis de rappel reliant le rodoir à son support.

Le *poli de la surface* a été obtenu à sec avec du papier collé sur le rodoir sur lequel était légèrement frotté du tripoli de Venise.

Cette opération est très délicate, car, le travail se faisant à sec, il faut éviter autant que possible l'échauffement résultant du frottement de l'outil sur la surface.

L'expérience a démontré que, pour faire le polissage avec le minimum d'échauffement, il fallait maintenir entre la surface de l'outil et celle du miroir un intervalle de $\frac{3}{100}$ de millimètre.

Malgré cet intervalle, le polissage avait lieu, et il était même nécessaire de ne faire marcher l'outil qu'une minute ou deux et arrêter trente minutes pour éviter la chaleur.

Malgré tout, la surface du miroir se bombait sous l'action du frottement, et le lendemain, après refroidissement, cette surface était creuse. Il fallait donc songer à combattre cet effet d'une autre manière, c'est-à-dire donner aux glissières une courbure égale à celle que prenait la surface du miroir pendant le travail; c'est ce qui a été fait par l'addition au-dessus de chaque glissière d'une pièce de fonte trois fois plus large, de manière à offrir une grande résistance à la flexion.

Ce réglage était obtenu à l'aide de deux comparateurs fixés de part et d'autre du rodoir; la flèche se trouvait ainsi mesurée par la différence des lectures des comparateurs mis en contact avec la surface du miroir, lorsque le rodoir se trouvait successivement au milieu et aux deux extrémités de sa course.

Le résultat d'une série d'expériences a été que la courbure à donner aux glissières devait avoir une flèche de $\frac{1}{200}$ de millimètre pour une longueur de 2 mètres.

La vérification de la surface est faite optiquement par le procédé de Foucault, en examinant successivement des zones de plus en plus rapprochées du centre et en faisant tourner le miroir.

La correction mécanique de la surface, une fois le poli obtenu, a duré huit mois.

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que le travail mécanique remplace avantageusement le travail fait jusqu'à présent à la main.

Surfaces des objectifs. — Les deux machines employées pour faire les surfaces des objectifs sont analogues de construction.

La différence réside simplement dans la forme des glissières qui, au lieu d'être droites, sont courbes.

Cette courbure est d'ailleurs proportionnelle et de même sens que la courbure de la surface à obtenir.

Ce travail n'est qu'à son début; mais la méthode qui sera suivie ressemblera en bien des points à celle qui a été employée pour le miroir.

Les moyens de vérification des surfaces seront différents. Une fois le poli de chaque objectif obtenu, on fera son examen par collimation en plaçant l'objectif devant le miroir et une source lumineuse au foyer de l'objectif (*fig.* 12); la lumière, après avoir passé par ce dernier et avoir été réfléchie par le miroir, repassera de nouveau par l'objectif pour venir former au foyer une image de la source lumineuse.

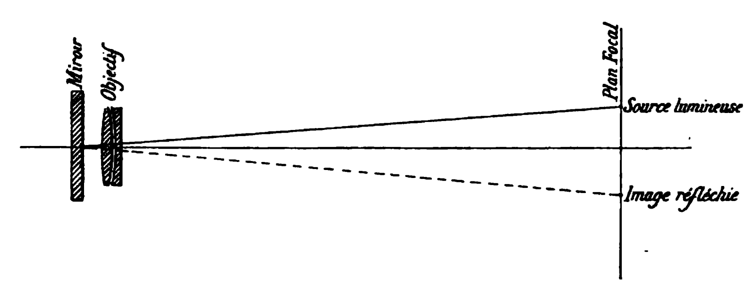


Fig. 12.

Avant de terminer, il est nécessaire de fournir quelques chiffres pour donner une idée des résultats que l'on peut attendre d'un si gigantesque instrument par le grossissement dont il pourra être capable.

Il faut d'abord définir le grossissement d'une lunette astronomique.

Le *grossissement d'un instrument d'astronomie* est défini par le rapport entre le diamètre apparent de l'image, vue dans l'oculaire, et le diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu.

Il est numériquement égal au produit du grossissement de l'oculaire par le grossissement de l'objectif.

Or le grossissement d'un objectif astronomique est proportionnel à sa distance focale.

F, étant sa distance focale;

m, la distance minimum de vision distincte pour une vue normale,

on a :

$$g = \frac{F}{m}.$$

Grossissement du sidérostat. — Les objectifs du sidérostat ont $1^m,25$ de diamètre et 60 mètres de distance focale ; en attribuant au coefficient *m* la valeur 10 centimètres, leur grossissement sera :

$$g = \frac{60}{0,10} = 600.$$

En associant un oculaire grossissant dix fois, le grossissement total de l'instrument sera :

$$G = 600 \times 10 = 6000.$$

L'éclat lumineux d'une image est proportionnel au carré de l'ouverture de l'objectif et inversement proportionnel à son grossissement.

Le pouvoir séparateur ou pouvoir optique d'un objectif de 12 centimètres de diamètre étant d'une seconde, et le pouvoir séparateur étant proportionnel au diamètre de l'ouverture, l'objectif du sidérostat permettra de mesurer la distance angulaire de deux étoiles voisines de 1 dixième de seconde d'arc.

Au foyer principal de l'objectif du sidérostat, la lune aura un diamètre de 56 centimètres.

En grossissant cette image dix fois, soit par un oculaire, soit par un appareil de projection, elle aura un diamètre de $5^m,60$.

Cette image, placée à 10 centimètres de notre œil, sera vue sous le même angle visuel que celui sous lequel on verrait la lune si elle n'était distante de la terre que de 58 kilomètres, au lieu de 380.000 kilomètres, ce qui équivaut donc au $\frac{1}{700}$ environ de son éloignement réel.

Les cratères de la lune ayant 100 mètres de diamètre seront représentés sur l'image par un point de 2 dixièmes de millimètre.

Essai sur une forme nouvelle
de la relation $f(pvt) = o$, relative aux fluides.

Par M. E.-H. Amagat [1].

I

1. J'ai montré [2] que si dans la relation

(1) $$(p + \mathcal{P})(v - a) = \text{RT},$$

on adopte, comme expression de la pression intérieure $\mathcal{P}$, la fonction $T\frac{dp}{dt} - p$, que je désignerai par π, on arrive à représenter avec une exactitude remarquable l'ensemble des données relatives à l'hydrogène jusque vers 3000 atmosphères entre 0° et 200°. Le covolume a devient alors une fonction du volume à laquelle j'ai donné la forme $[\alpha - B(v - \alpha)^n]$. Mais la région connue du réseau de l'hydrogène, très éloignée du point critique et, par suite, peu compliquée, est relativement facile à représenter ; des essais analogues tentés avec le réseau de l'acide carbonique ne m'ont pas conduit à d'aussi bons résultats.

Il est bien évident que la forme et le sens du terme $\mathcal{P}$ dépendent de la forme adoptée pour la fonction (1) ; rien ne prouve avec certitude que la fonction π, expression rationnelle de la pression intérieure, puisque πdv représente le travail intérieur, soit celle qui convienne le mieux à la forme de la fonction $f(pvt) = o$ adoptée ci-dessus ; on peut aussi concevoir des formes différentes dans lesquelles entreraient, non la fonction π, mais une autre fonction ayant avec celle-ci des rapports dépendant de la forme adoptée.

Si, par exemple, dans la relation (1) nous substituons à $\mathcal{P}$, non la fonction π, mais la suivante que je désignerai par π' et à laquelle on a aussi donné le nom de *pression intérieure* :

$$\pi' = \frac{W}{3v} = \frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}$$

(W étant le viriel des forces intérieures), il est facile de montrer que le covolume disparaît de la parenthèse $(v - a)$ et qu'on obtient

[1] Séance du 3 mars 1899.
[2] *J. de Phys.*, 3e série, t. III, p. 307 ; 1894.

la relation :

$$(2) \qquad \left(p + \frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}\right) v = \mathrm{RT},$$

ce qu'on aurait pu, du reste, écrire immédiatement, en partant de la relation connue [1] :

$$\mathrm{KT} = \frac{3}{2}\left[p + \frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}\right] v,$$

laquelle aurait pu être mise de suite sous la forme (2), puisque R et K sont des constantes.

Il était naturel de chercher si cette fonction ne se prêterait pas assez facilement à la représentation des résultats expérimentaux, puisque tout l'effort devait porter sur la détermination de la seule fonction π'; c'est ce que j'ai fait en suivant la marche que je vais rapidement exposer.

II. Je rappellerai que la fonction π', de même que π, pour une température donnée, croît d'abord avec la pression, passe par un maximum, diminue, s'annule et prend des valeurs négatives rapidement croissantes [2].

D'autre part, le Tableau des valeurs de π' montre que, pour un volume constant donné, cette fonction diminue quand la température augmente et qu'on a sensiblement $\frac{d\pi'}{dt} = -c$, c dépendant du volume seul. Pour satisfaire à l'ensemble de ces conditions, on est conduit à essayer de représenter π' par une fonction de la forme $\frac{v - \varphi(v)\,\mathrm{T}}{\psi(v)}$, soit, pour abréger, $\frac{v - \mathrm{XT}}{\psi(v)}$, dans laquelle $\psi(v)$ sera d'un degré en v supérieur à celui du numérateur, et T la température absolue.

Par suite, si π'_1 et π'_2 sont les valeurs de π', relatives aux températures T_1 et T_2, sous le volume constant v, on calculera X par la relation

$$\frac{v - \mathrm{XT}_1}{v - \mathrm{XT}_2} = \frac{\pi'_1}{\pi'_2}.$$

Ayant obtenu ainsi les valeurs de X pour un grand nombre de

---

(1) Voir Sarrau, *Introduction à la théorie des explosifs*, p. 78, et ma note aux *C. R. de l'Académie des Sciences*, du 4 mars 1895.

(2) Voir ma note du 4 mars 1895.

volumes, on aura les éléments nécessaires pour déterminer la forme de $\varphi(v)$.

Un graphique, obtenu en portant v en abscisses et $\varphi(v)$ ou X en ordonnées, montre que la courbe $X = \varphi(v)$ correspond à une branche d'hyperbole ayant une asymptote normale à l'axe des v et dont l'équation est :

$$X = a + m(v - b) + \frac{c}{v - b}.$$

Le coefficient angulaire de l'asymptote oblique, qui est nettement indiqué par le graphique donne m ; l'abscisse de l'asymptote normale à l'axe des v donne b ; on calculera l'ordonnée du centre a et le terme c tant en s'aidant du graphique qu'au moyen de données expérimentales correspondant à des points convenablement choisis.

La détermination de $\psi(v)$ a présenté plus de difficultés ; tout naturellement j'ai d'abord essayé la forme v^m : si π'_1 et π'_2 sont les valeurs de π' pour deux volumes v_1 et v_2 à la même température, on pourra écrire :

$$\frac{\pi'_1}{\pi'_2} = \frac{v_1 - X_1 T}{v_2 - X_2 T} \times \frac{v_2^m}{v_1^m};$$

de là on tirera m en fonction de quantités connues ; or un calcul analogue effectué en groupant deux par deux un grand nombre de volumes, donne pour m des valeurs peu différentes, toutes un peu inférieures à 3 et dont la moyenne est 2,85 ; malgré le peu de divergence des valeurs de m, il m'a été impossible de satisfaire à l'ensemble du réseau avec le seul terme v^m ; j'ai alors calculé pour chaque volume la valeur d'une fonction complémentaire $f(v)$, telle que $kv^{2,85} + f(v)$ satisfasse aux données expérimentales ; j'ai suivi dans cette détermination une marche analogue à celle indiquée plus haut pour la détermination de $\varphi(v)$, et j'ai été ainsi conduit, assez péniblement du reste, à l'équation d'une branche d'hyperbole :

$$f(v) = -\alpha + n\sqrt{(v - \beta)^2 + d^2}.$$

n a été assez facilement déterminé par la direction de l'une des asymptotes, mais l'ordonnée du centre $-\beta$ et l'axe non transverse d ont exigé des tâtonnements de calcul assez pénibles et sur lesquels il serait trop long d'insister. En résumé, j'arrive à la formule suivante :

$$\left\{ p + \frac{v - \left[a + m(v - b) + \frac{c}{v - b}\right] T}{kv^{2,85} - \alpha + n\sqrt{(v - \beta)^2 + d^2}} \right\} v = RT.$$

ACIDE CARBONIQUE (*pressions en atmosphères*).

Volumes	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	137°	196°	258°
	atm.													
1,00000..	0,996 **1,000**	1,033 **1,037**	1,070 **1,073**	1,108 **1,111**	1,145 **1,148**	1,182 **1,185**	1,219 **1,221**	1,256 **1,258**	1,294 **1,295**	1,330 **1,332**	1,368 **1,369**	1,506 **1,506**	1,734 **1,733**	1,957 **1,954**
0,02385..	30,8 **31,0**	34,7 **33,0**	34,7 **35,0**	36,6 **37,0**	38,6 39,0	40,5 **40,9**	42,4 **42,8**	44,4 **44,7**	46,3 **46,6**	48,3 **48,5**	50,3 **50,5**	57,4 **57,0**	69,3 **68,0**	80,6 **78,5**
0,01636..	»	41,9 **41,8**	45,0 45,1	48,0 **48,0**	51,1 **51,1**	54,1 **54,5**	57,2 **57,6**	60,2 **60,6**	63,2 **63,5**	66,3 **66,5**	69,3 **69,5**	80,6 **80,0**	99,1 **97,0**	117,4 **112,0**
0,01300..	»	»	51,3 **51,1**	55,4 **55,5**	59,4 **59,7**	63,5 **63,8**	67,5 **67,8**	71,5 **71,8**	75,6 **75,7**	79,6 **79,6**	83,6 **83,6**	98,9 **97,5**	122,4 **120,0**	147,5 **140,0**
0,01000..	»	»	»	63,2 **62,8**	68,8 **68,6**	74,5 **74,5**	80,1 **80,2**	85,7 **85,8**	91,3 **91,3**	96,9 **96,7**	102,5 **102,3**	123,2 **121,5**	157,4 **153,5**	191,1 **181,0**
0,00768..	»	»	»	»	77,2 **76,6**	85,2 **84,8**	93,1 **92,8**	100,5 **100,6**	108,4 **108,2**	116,3 **116,0**	124,7 **123,8**	153,9 **151,0**	202,0 **195,0**	249,6 **234,5**
0,00578..	»	»	»	»	83,4 **83,1**	94,9 **94,7**	106,4 **106,2**	118,0 **117,5**	129,5 **128,8**	141,1 **140,2**	152,6 **151,3**	195,5 **191,0**	265,5 **257,0**	334,3 **316,0**
0,00428..	»	»	»	»	87,0 **87,8**	104,6 **104,8**	122,2 **121,9**	139,9 **138,9**	157,5 **156,3**	175,1 **173,5**	192,8 **191,1**	258,1 **252,5**	365,7 **356,0**	471,5 **449,5**
0,00316..	»	»	»	»	98,6 **98,0**	127,3 **125,3**	156,1 **153,8**	184,8 **183,2**	213,5 **211,5**	242,3 **240,5**	271,0 **271,0**	377,5 **376,0**	552,5 **554,5**	»
0,00250..	»	»	65,2 **64,4**	111,4 **109,0**	157,6 **155,0**	203,9 **201,0**	250,1 **250,5**	296,3 **298,0**	342,6 **346,0**	388,8 **394,5**	434,9 **443,5**	605,8 **619,0**	887,8 **909,0**	»
0,00200..	125,3 **122,5**	211,8 **209,0**	298,3 **300,0**	384,7 **384,0**	471,2 **470,0**	557,7 **560,0**	644,1 **651,0**	730,6 **745,0**	817,1 **832,0**	903,5 **918,0**	990,0 **998,0**	»	»	»
0,00187..	304,0 **307,5**	411,4 **404,0**	518,7 **520,0**	626,1 **627,5**	733,4 **750,0**	840,8 **856,5**	»	»	»	»	»	»	»	»
0,00178..	518,8 **510,0**	643,4 **638,0**	768,1 **776,0**	892,8 **900,0**	1017 **1000**	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,001716.	732,0 **730,0**	870,0 **865,0**	1008 **1000**	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Les valeurs des constantes sont les suivantes :

$a = 0{,}0000014566$, $R = 0{,}00368$, $\alpha = 0{,}000000198$,
$b = 0{,}000047$, $k = 44{,}6$ $\beta = 0{,}0018425$,
$c = 0{,}0000000028832$, $d = 0{,}0802679$,
$m = 0{,}0018$, $n = 0{,}0006$.

Il est facile de voir que le covolume, qui tout d'abord avait paru éliminé de la formule, reparaît dans la fonction $\varphi(v)$: le terme $\frac{c}{v-b}$ tend vers ∞ et, par suite, π' vers $-\infty$ quand v tend vers b ; pour des valeurs de v inférieures à b, π' prend des valeurs positives d'abord infiniment grandes et totalement dépourvues de sens, b joue donc ici le rôle du covolume.

III. Le tableau qui précède est relatif à la masse d'acide carbonique qui occupe un volume égal à l'unité à zéro sous la pression normale ; il donne aux diverses températures les pressions nécessaires pour maintenir la masse de gaz en question sous les volumes inscrits à la première colonne verticale ; on a inscrit l'une au-dessous de l'autre les pressions expérimentales fournies par mon réseau et celles calculées par la formule, ces dernières étant au dessus et en caractères différents.

On voit que la concordance de l'ensemble est très satisfaisante, surtout si l'on tient compte de la difficulté de la question dans des limites de température et surtout de pression aussi étendues ; les divergences les plus fortes sont relatives à la plus haute température ; il faut se rappeler que c'est avec beaucoup de peine que j'ai pu obtenir le tronçon d'isotherme à 258°, qui s'arrête vers 450 atmosphères.

II

I. La forme compliquée de la fonction à laquelle je viens d'arriver ne paraît pas devoir se prêter facilement, par l'emploi d'une méthode analogue à celle suivie par Clausius, au calcul des données relatives à la saturation ; on peut cependant se rendre compte, dans une certaine mesure, du degré d'approximation avec laquelle elle satisfait, dans ces conditions, aux données expérimentales.

Admettons, pour un instant, qu'on possède les valeurs rigoureusement exactes des volumes de vapeur et de liquide à saturation ; si l'on substitue à v dans la formule l'une ou l'autre de ces valeurs relatives à une température donnée, le calcul devra conduire à deux

valeurs de p égales entre elles et à la tension maxima correspondante. Il faut bien remarquer la difficulté de l'épreuve ainsi tentée ; le désaccord pourra provenir non seulement de l'insuffisance de la formule, mais encore de ce fait que, précisément à cause de cette insuffisance, les valeurs numériques des volumes pourront ne pas être strictement celles qui correspondent à l'état de saturation défini par cette même formule et à la température choisie ; il est facile de voir, d'après la forme des courbes, notamment celle des densités, que les divergences résultant de cette double cause d'erreur peuvent atteindre, quand on s'approche du point critique, des valeurs de beaucoup supérieures à celles qui correspondraient à la courbe de saturation réellement contenue dans la formule, mais dont le calcul, par suite de la complication de celle-ci, serait extrêmement pénible.

Le tableau suivant, qui se comprend sans explication, montre que les écarts entre les pressions calculées et observées sont parfaitement tolérables, si l'on tient compte des difficultés signalées plus haut. Les divergences les plus fortes portent sur les pressions déduites des volumes de liquide ; mais les tensions expérimentales sont généralement comprises entre les pressions calculées et très peu différentes de leurs moyennes.

ACIDE CARBONIQUE (*courbe de saturation*).

T		Volumes	π	Tensions calculées	Moyenne	Tensions expérimentales
			atm.	atm.	atm.	atm.
0°	vapeur ...	0,020593	14,8	34,0	»	**34,3**
	liquide ...	0,002163	438,9	»		
5°	vapeur ...	0,017342	19,8	39,2	38,3	**39,0**
	liquide ...	0,002226	422,8	37,4		
10°	vapeur ...	0,014865	25,8	44,3	44,75	**44,2**
	liquide ...	0,002310	405,6	45,2		
15°	vapeur ...	0,012513	34,5	50,2	50,35	**50,0**
	liquide ...	0,002429	385,6	50,7		
20°	vapeur ...	0,010405	46,85	56,7	56,75	**56,3**
	liquide ...	0,002581	360,95	56,8		
25°	vapeur ...	0,008238	68,8	64,3	63,15	**63,3**
	liquide ...	0,002812	327,4	62,6		
30°	vapeur ...	0,005919	115,85	72,0	70,25	**70,7**
	liquide ...	0,003306	268,8	68,5		
31°	vapeur ...	0,0050433	149,1	72,7	71,35	**72,3**
	liquide ...	0,0036884	233,4	70,0		
31°,25	vapeur ...	0,004685	166,5	72,5	71,75	**72,8**
	liquide ...	0,003978	210,5	71,0		
31°,35	vapeur ...	0,004261	191,1	71,9	71,9	**72,9**
	liquide ...	0,004261	191,1	71,9		

L'ensemble des écarts se voit de suite sur la *fig.* ci-contre : à la

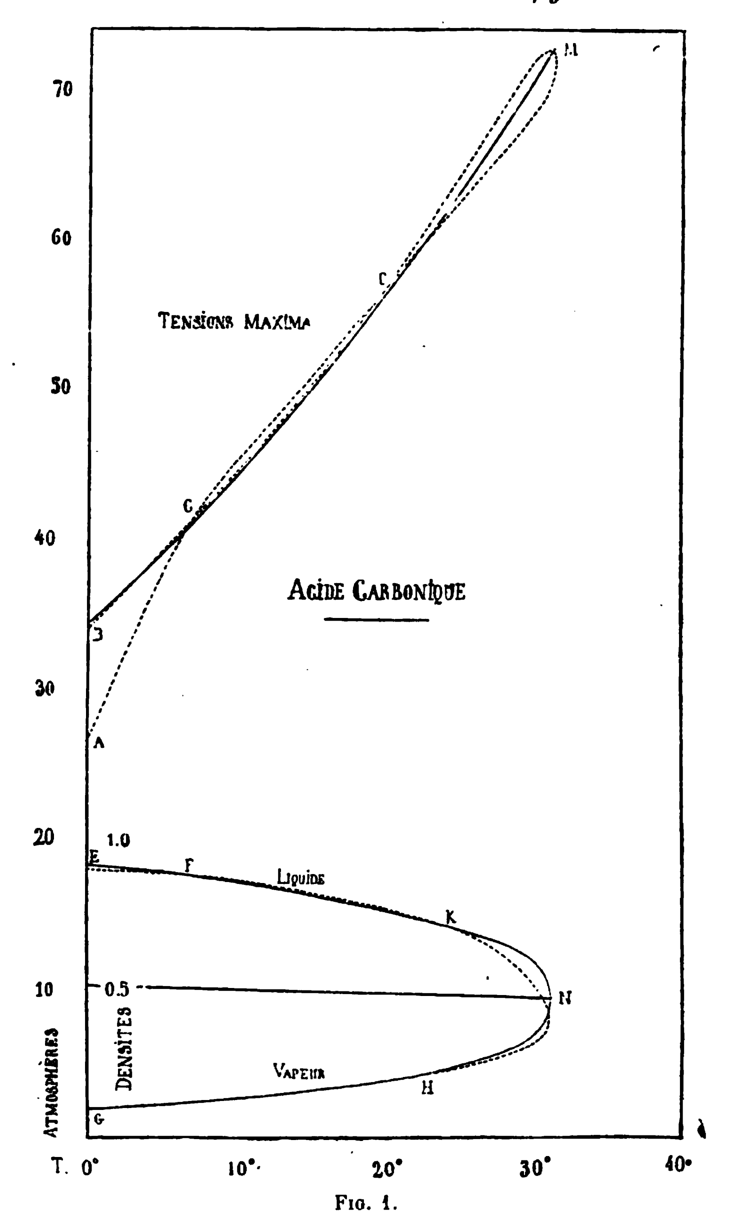


FIG. 1.

partie supérieure, la courbe des tensions maxima $p = f(t)$ est repré-

sentée en trait plein; l'ensemble des deux courbes calculées est tracé en trait ponctué; celles-ci se raccordent vers le point critique en M, après s'être coupées deux fois en C et D sensiblement sur la courbe expérimentale. De B en C, la courbe calculée avec les volumes de vapeur coïncide presque avec la courbe expérimentale; de C en A les divergences considérables que présente la courbe provenant des volumes de liquide ne correspondent, en réalité, qu'à de faibles différences pour les densités correspondantes; c'est ce que montrent bien les courbes expérimentale (trait plein) et calculée des densités de liquide et de vapeur reproduites à la partie inférieure de la figure; les petites différences qu'on voit de E en F entraînent, dans le calcul des pressions correspondantes, les écarts considérables qu'on voit de A en C; or ces petites différences sont presque de l'ordre de grandeur des erreurs expérimentales possibles, et encore dois-je ajouter que la dernière détermination expérimentale (ainsi que cela est indiqué sur la courbe de ma Note du 16 mai 1892) correspond à près de 2°; la courbe a été prolongée, d'après son allure, jusqu'à zéro.

On voit, en résumé, que les courbes de densité à saturation coïncident presque jusqu'en K, H, et que la déformation de la courbe calculée, entre KH et le point critique N, s'explique aisément après les remarques faites plus haut.

Je dois encore rappeler que la forme $[v - \varphi(v)T]$ du numérateur de π' a été établie en partant de ce fait que, pour un volume constant donné, la valeur de $\frac{d\pi'}{dt}$ est sensiblement constante. En réalité, pour qu'il en soit rigoureusement ainsi, il faudrait que le coefficient de pression $\frac{dp}{dt}$ soit lui-même rigoureusement fonction du volume seul; en effet, de la valeur de π', soit $\frac{p_0v_0}{v} - p$, on tire à volume constant

$$\frac{d\pi'}{dt} = \frac{1}{v}\frac{d(p_0v_0)}{dt} - \frac{dp}{dt};$$

comme $\frac{d(p_0v_0)}{dt}$ est constant (le gaz devant être considéré comme parfait pour l'ordonnée initiale p_0v_0), $\frac{d\pi'}{dt}$ ne sera fonction du volume seul que si le coefficient de pression est dans le même cas. Or, ainsi

que je l'ai fait remarquer depuis longtemps, les recherches faites jusqu'ici ne permettent pas d'affirmer qu'il en soit rigoureusement ainsi; j'inclinerais à considérer le fait comme une loi limite dont les variations toujours très petites sont encore mal connues. Si donc ces variations, quoique très petites, existent, le numérateur de π' serait de la forme $[(v - \varphi(rt)T]$; la complication ainsi introduite serait peut-être compensée par une simplification du dénominateur; si l'on considère en effet que, dans le terme v^m, m varie très peu et que sa valeur moyenne est très voisine de 3, on ne peut s'empêcher de se demander si les légères modifications du numérateur dont je viens de parler ne réduiraient pas le dénominateur au seul terme kv^3.

Enfin je dois faire remarquer encore que l'asymptote correspondant aux petits volumes, de l'hyperbole du dénominateur de π', n'a pu être déterminée avec précision, faute de données expérimentales relatives à des pressions suffisamment élevées; il peut se faire que les deux asymptotes ne doivent pas avoir la même inclinaison sur l'axe des volumes, ainsi que cela résulte actuellement de l'équation de l'hyperbole; dans tous les cas, il faudrait se garder d'interpoler au-delà des limites des plus petits volumes compris dans mes tableaux.

II. La valeur du terme R (0,00368) est légèrement supérieure à l'inverse de la température absolue à zéro (0,003663) considérée quelquefois comme valeur commune de ce terme pour les différents gaz; il ne saurait en être autrement avec la forme de fonction adoptée ici; cette fonction donne en effet à zéro, pour $p = 1$ et $v = 1$,

$$1 + \pi' = RT = R \times 273.$$

Or, dans ces conditions, la valeur donnée ci-dessus de π' se réduit à $(p_0v_0 - 1)$, quantité évidemment positive pour tous les gaz étudiés, sauf l'hydrogène; par suite, R est supérieur à l'inverse de 273; pour que R soit égal à 273, il faudrait rapporter la formule à la masse de gaz telle que pv, sous une pression extrêmement faible (soit, pour l'ordonnée initiale p_0v_0), soit égale à l'unité; dans ces conditions, en effet, π' pourrait être considéré comme nul, et l'on aurait :

$$p_0v_0 = 1 = RT = R \times 273.$$

Si donc on prolonge l'isotherme à zéro du réseau actuel jusqu'à l'axe des pv, et si $1 + \varepsilon$ est l'ordonnée p_0v_0 ainsi obtenue, la masse de gaz pour laquelle cette ordonnée initiale aurait pour valeur l'unité

serait évidemment égale à celle à laquelle se rapporte actuellement le réseau, divisée par $1 + \varepsilon$.

C'est aux masses déterminées ainsi pour les différents gaz qu'il serait rationnel de rapporter les réseaux et les formules qui les représentent, car ce sont celles qui, à zéro et sous une même pression extrêmement faible, c'est-à-dire dans les conditions où les gaz peuvent être considérés comme parfaits, occuperaient le même volume; ce sont donc ces mêmes masses qu'il conviendrait de faire intervenir dans les théories relatives aux équivalents en volume, à la loi d'Avogadro-Ampère et aux diverses questions qui s'y rattachent; les résultats auxquels on arriverait ainsi reviendraient, au fond, théoriquement à ceux qui ont été calculés l'année dernière par M. Dr Berthelot.

Il faudrait, pour arriver à de bons résultats, poursuivre l'étude expérimentale des isothermes jusque sous des pressions suffisamment faibles, tout en restant dans les limites où les erreurs relatives que comporte leur mesure ne commencent pas à devenir notables; on éviterait ainsi l'incertitude que présentent forcément soit l'extrapolation, soit le prolongement graphique des courbes à partir de points trop éloignés de l'ordonnée initiale.

Sur le spectroscope à échelons;

Par M. A. Michelson [1].

La découverte capitale, faite par Zeeman, de l'influence d'un champ magnétique sur les radiations d'une source approximativement homogène a montré, peut-être mieux que quoi que ce soit, le grand avantage d'une dispersion et d'un pouvoir de résolution aussi grande que possible dans les spectroscopes avec lesquels on observe le phénomène.

Si l'on remarque que, dans la plupart des cas, la distance des composantes que sépare le champ magnétique est de l'ordre du vingtième ou du cinquantième de l'écart entre les $D_1 - D_2$, soit de 0,1 à 0,3 unité, — il n'est pas difficile d'admettre que, s'il y avait une structure tant soit peu complexe dans les composantes mêmes, on ne verrait

[1] Séance du 21 avril 1899.

rien, même avec les plus puissants des spectroscopes ordinaires.

Outre la difficulté d'obtenir avec les réseaux un pouvoir de résolution suffisant, il y a toujours le défaut d'intensité de la lumière, ce qui empêche, dans beaucoup de cas, l'emploi d'un spectre d'ordre suffisamment élevé pour donner le pouvoir séparateur nécessaire.

J'ai déjà eu l'honneur de présenter à la Société française de Physique (¹), il y a six ans, une méthode d'analyse des raies approximativement homogènes, par l'observation de la netteté des franges d'interférence produites par ces radiations elles-mêmes, et la construction d'une courbe représentant la variation de netteté en fonction de la différence de marche des rayons interférents. J'ai montré qu'il y a une relation déterminée entre cette courbe de « visibilité » et la distribution d'intensité dans le spectre correspondant, au moins dans les cas où celui-ci est symétrique (²). Or c'est justement dans l'examen de variations aussi faibles que celles qu'on trouve dans l'effet Zeeman qu'apparaît tout l'avantage de cette méthode; car il n'y a pas d'erreurs provenant des défauts de l'instrument; il n'y a pas de limite de pouvoir séparateur pour des raies extrêmement serrées ou extrêmement fines, et il n'y a pas manque de lumière.

Il y a cependant cet inconvénient assez grave, que l'examen d'une seule raie exige un temps quelquefois assez long, pendant lequel la nature des radiations peut changer, et aussi qu'on ne peut rien décider, quant à la nature de ces radiations, que lorsque la courbe de visibilité est complète et après un calcul ou une opération mécanique équivalente.

Ces difficultés ne m'ont cependant pas empêché d'obtenir plusieurs résultats assez intéressants, tels que le dédoublement ou le détriplement de la raie centrale de Zeeman et la résolution des raies latérales en raies multiples, la résolution de la plupart des raies du spectre en raies d'une structure plus ou moins compliquée, l'observation des effets de la température et de la pression sur la largeur des raies, etc.

Mais il était évident néanmoins que les inconvénients de ce procédé étaient assez graves, et que les procédés spectroscopiques seraient beaucoup plus satisfaisants s'il était possible : 1° d'augmenter la puissance des réseaux, et 2° de concentrer toute la lumière dans un seul spectre.

(¹) Voir Séance du 5 mai 1893.

(²) Dans le cas des raies asymétriques il faut encore une relation, qu'on peut appeler la « courbe des phases ».

On sait que le pouvoir de résolution d'un réseau est mesuré par le produit nm du nombre des traits par l'ordre du spectre. Presque toute l'attention des physiciens s'est portée sur le premier de ces facteurs, et, dans les plus puissants réseaux de Rowland, il y a une centaine de milliers de traits. Il est probable qu'on approche de la limite; car il paraît que les réseaux contenant la moitié de ce nombre de traits ont presque la même puissance. Cela tient sans doute au défaut de régularité dans l'espacement des traits. Si cette difficulté pouvait être surmontée, on pourrait augmenter le pouvoir séparateur presque indéfiniment.

J'ai construit, avec mon collègue M. Stratton, une première machine à tracer les traits, dans laquelle je me sers du principe de mon interféromètre pour corriger la vis au moyen des ondes lumineuses d'une source homogène. Cet instrument a déjà donné des résultats assez encourageants sur une surface de 3 centimètres et nous espérons appliquer bientôt le même principe à une machine capable de tracer sur une étendue de 40 centimètres.

Quant à l'autre facteur, l'ordre du spectre observé, on dépasse très rarement le quatrième ordre, parce que l'intensité devient trop faible. On trouve, il est vrai, quelquefois, des réseaux qui donnent des spectres plus brillants qu'à l'ordinaire dans le deuxième ou le troisième ordre; ces réseaux sont aussi précieux que rares, et la propriété de condenser la lumière dans un spectre particulier semble être une conséquence de la forme du diamant, qu'on ne peut obtenir que par une longue série d'essais et de tâtonnements. Si l'on voulait faire autrement, et chercher d'avance à tracer les sillons de façon à concentrer presque toute la lumière dans un spectre déterminé, il faudrait chercher à tracer des sillons tels que les montre en coupe la *fig.* 1. Je sais qu'il y a des difficultés toutes spéciales à passer de

Fig. 1.

cette idée très simple à l'essai pratique, et peut-être sont-elles insurmontables; mais elle vaudrait bien la peine d'être essayée, et c'est ce que nous comptons faire prochainement.

En attendant, l'idée m'est venue de tourner la difficulté de la manière suivante (*fig.* 2) :

P, P sont des lames de verre à faces bien planes et parallèles et de même épaisseur; elles sont pressées l'une contre l'autre comme l'indique la figure. Si les épaisseurs étaient exactement les mêmes, et s'il n'y avait pas de différences d'épaisseur entre les couches d'air qui séparent les lames, les retards entre les rayons réfléchis par les surfaces successives seraient exactement les mêmes, et les ondes réfléchies seraient dans les mêmes conditions que celles qu'engendre un réseau à réflexion, sauf que le retard commun est devenu énorme.

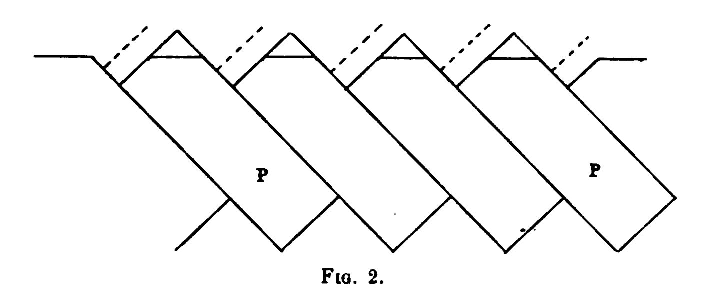


Fig. 2.

La première condition n'est pas trop difficile à remplir. Mais, à cause des grains de poussière qui se déposent sur les surfaces, même quand on prend des précautions toutes spéciales, il n'est guère possible d'obtenir avec sûreté le contact ou même une distance sensiblement constante entre les surfaces. On pourrait peut-être presser les lames jusqu'à les faire adhérer; mais, pour y arriver, il faudrait une pression énorme, ce qui bien certainement aurait pour effet de déformer les surfaces (1).

Mais si, au lieu du retard par *réflexion*, on utilise le retard par *transmission*, toute difficulté disparaît presque entièrement; car les couches d'air sont compensées par des distances équivalentes traversées à l'extérieur, de façon qu'il n'est plus nécessaire de leur donner encore une épaisseur constante. De plus, la précision dans le parallélisme et dans l'égalité des épaisseurs des plaques, nécessaire pour donner de bons résultats, devient six fois moins grande que celle qu'exige l'appareil à réflexion.

(1) J'ai néanmoins constaté qu'avec une dizaine de ces plaques argentées on peut obtenir des spectres qui, bien qu'un peu confus, permettent d'observer des phénomènes tels que l'effet Zeeman, l'élargissement des raies par la pression, etc.; mais c'est à peu près la limite, car on gagne peu à augmenter le nombre des lames.

Dans la *fig.* 3, soient $ab = s$ la largeur de chaque faisceau de rayons ; $bc = t$, l'épaisseur de chaque degré de l'escalier ; θ, l'angle de diffraction ; α, l'angle acb ; m, la différence de marche, mesurée en longueurs d'onde λ, entre les rayons provenant de deux éléments correspondants ; μ, l'indice du verre.

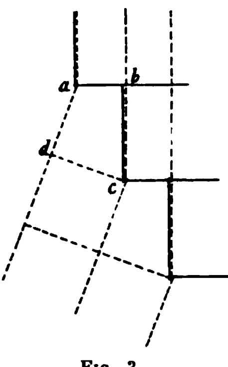


FIG. 3.

Cette différence de marche s'écrit :

$$m\lambda = \mu t - \overline{ad},$$
$$\overline{ad} = \frac{t}{\cos\alpha}\cos(\alpha + \theta),$$

ou, puisque θ est toujours très petit,

$$\overline{ad} = \frac{t}{\cos\alpha}(\cos\alpha - \theta\sin\alpha) = t\,(1 - \theta\,\mathrm{tang}\,\alpha)$$
$$= t - s\theta ;$$

et

$$\text{(I)} \qquad m\lambda = (\mu - 1)\,t + s\theta.$$

Pour trouver l'angle qui correspond à une valeur $d\lambda$ donnée, différencions par rapport à λ ; nous trouvons :

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{s}\left(m - t\,\frac{d\mu}{d\lambda}\right) ;$$

remplaçons, dans cette expression, m par sa valeur approchée $m = (\mu - 1)\,\frac{t}{\lambda}$; nous trouvons :

$$\text{(II)} \qquad \frac{\lambda \,.\, d\theta}{d\lambda} = \frac{t}{s}\left[(\mu - 1) - \lambda\,\frac{d\mu}{d\lambda}\right] = \frac{bt}{s}.$$

Pour la plupart des verres optiques, b varie entre 0,5 et 1,0.

L'expression II mesure la dispersion du spectroscope en escalier.

Pour déterminer le pouvoir de résolution, posons la limite de résolution $\frac{\partial\lambda}{\lambda} = \varepsilon$; l'angle θ correspondant est $\frac{\lambda}{ns}$; car, n étant le nombre d'éléments, ns est l'ouverture effective de la lunette d'observation. En substituant ces valeurs, on trouve:

$$\text{(III)} \qquad \varepsilon = \frac{\lambda}{bnt}.$$

Pour obtenir la distance angulaire des spectres, différencions I par rapport à m. Nous aurons :

$$\frac{d\theta}{dm} = \frac{\lambda}{s},$$

ou, en faisant dm égal à 1,

$$\text{(IV)} \qquad d\theta_1 = \frac{\lambda}{s}.$$

La quantité $\frac{\partial\lambda}{\lambda} = \mathcal{E}$ correspondante s'obtient en substituant cette valeur de $d\theta$ dans l'équation II:

$$\text{(V)} \qquad \mathcal{E} = \frac{\lambda}{bt}.$$

Ainsi la limite de résolution est égale à la n^{me} partie de la distance entre les spectres.

Les spectres des différents ordres d'une même raie se trouvent très voisins l'un de l'autre, ce qui est évidemment un désavantage assez sérieux de cet appareil. Ainsi, s'il s'agit d'observer l'effet de la densité d'une flamme de soude et que l'élargissement de la raie soit de l'ordre de $\frac{\lambda}{bt}$, les deux spectres contigus se superposeront et se confondront. Par exemple, si $t = 7$ millimètres, $\mathcal{E} = \frac{1}{7000}$ et, par conséquent, il ne sera pas possible d'examiner des raies qui ont une largeur plus grande que le $\frac{1}{14^e}$ de la distance $D_1 - D_2$. Il est évidemment avantageux de diminuer l'épaisseur t autant que possible.

Le pouvoir de résolution, qu'on peut définir par $\frac{1}{\varepsilon}$, est proportionnel au produit nt; pour l'augmenter autant que possible, il faut donc employer des lames épaisses ou accroître leur nombre. Mais, à cause des pertes de lumière par les réflexions successives, l'expérience montre

que ce nombre est limité, qu'il doit être compris entre 20 et 35, les lames qu'on ajouterait encore n'augmentant en rien l'éclat.

J'ai fait construire trois escaliers, dans lesquels les lames ont respectivement pour épaisseur 7, 18 et 30 millimètres, comptant tous un nombre de lames compris entre 20 et 35; leurs pouvoirs de résolution sont, par conséquent, de l'ordre de 210000, 540000 et 900000, c'est-à-dire que l'on peut dédoubler des raies dont la distance est respectivement le $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{500}$ ou $\frac{1}{900}$ de la distance $D_1 - D_2$.

Par conséquent le plus faible de ces escaliers a la même puissance que les meilleurs réseaux, et, ce qui est encore plus important, il concentre presque toute la lumière dans un seul spectre.

La loi de la distribution des intensités dans les spectres successifs se déduit facilement de l'intégrale :

$$A = \int_{-\frac{s}{2}}^{+\frac{s}{2}} c \,.\, \cos px dx, \qquad \text{où} \qquad p = \frac{2\pi\theta}{\lambda},$$

$$I = A^2 = \frac{\sin^2 \pi \frac{s}{\lambda} \theta}{\left(\pi \frac{s}{\lambda} \theta\right)^2}, \qquad \text{à un facteur constant près.}$$

Cette expression est nulle pour $\pm \theta = \frac{\lambda}{s}$. Le second membre est identique à la distance angulaire $d\theta_1$ des spectres; il y a donc, en général, deux spectres visibles, comme l'indique la *fig.* 4. En inclinant légèrement l'escalier, on amène facilement l'un des spectres au centre du champ de diffraction, tandis que les spectres voisins sont au minimum d'intensité et disparaissent.

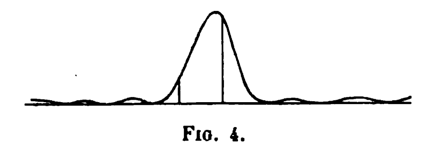


Fig. 4.

Comme je viens de l'indiquer, la proximité des spectres successifs est une des difficultés les plus graves; cette proximité étant déterminée par l'épaisseur des lames, quantité qu'il est assez difficile de réduire au-dessous de 5 à 7 millimètres, il est naturel de chercher

d'autres moyens, parmi lesquels on peut mentionner l'emploi d'un liquide au lieu de l'air.

Dans ce cas, la formule II devient :

$$\frac{\lambda . d\theta}{d\lambda} = \frac{t}{s}\left[\frac{1}{\mu_1}\left(\mu - \mu_1 - \lambda\frac{d(\mu - \mu_1)}{d\lambda}\right)\right] = \frac{ct}{s};$$

et la formule IV devient :

$$\frac{d\theta}{dm} = \frac{\lambda}{\mu_1 s}.$$

Répétant les opérations déjà faites, nous trouvons :

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{nct} \quad \text{et} \quad \mathcal{E} = \frac{\lambda}{ct}.$$

La limite de résolution est encore la n^{me} partie de la distance des spectres, mais ces deux quantités sont augmentées dans le rapport de c à b.

Supposons, par exemple, que le liquide soit de l'eau. On peut, tant pour l'eau que pour le verre, négliger l'effet de la dispersion, et le rapport $\frac{b}{c}$ sera à peu près 3,53. Donc la distance des spectres, mais aussi la limite de résolution seraient augmentées dans cette proportion.

Comme c'est maintenant une surface eau-verre qui réfléchit la lumière perdue, cette perte sera beaucoup diminuée, et l'on pourra augmenter beaucoup le nombre des éléments, ce qui restituera le pouvoir de résolution, tout en conservant l'accroissement de distance des spectres. En même temps le degré d'exactitude exigé pour la taille des lames devient 3,53 fois moindre. Je n'ai pas encore essayé cette expérience, mais je ne vois pas de difficulté à l'exécuter.

Pour certaines radiations, l'absorption par des épaisseurs de l'ordre de 50 centimètres d'eau ou de verre rendrait impossible l'emploi d'un appareil à transmission. Aussi avais-je essayé de reprendre l'idée originale d'un spectroscope à réflexion, et il peut être intéressant d'indiquer d'une façon générale comment on peut espérer résoudre le problème.

Entre autres procédés pour réaliser les échelons à réflexion, les suivants semblent promettre les meilleurs résultats.

Dans le premier, on prend de vingt à trente lames de même épaisseur, on les colle, et l'on taille et polit les deux surfaces A et B de

6

l'ensemble bien planes et parallèles. Ensuite on les décolle et on les pose sur une surface inclinée, comme l'indique la *fig.* 5. S'il y a des

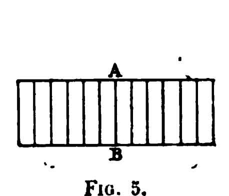


Fig. 5.

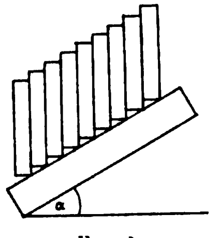


Fig. 6.

différences d'épaisseur entre les couches d'air qui séparent les lames, il y aura aussi, entre les lames, des différences de hauteur, égales au produit des premières par tang α. On peut admettre une erreur de $\frac{\lambda}{n}$, pour chaque lame, même dans le cas le plus défavorable où toutes les erreurs s'ajoutent et par conséquent des différences de $\frac{\lambda}{n\alpha}$ entre les épaisseurs des couches d'air. Par exemple, avec vingt plaques, les incertitudes peuvent atteindre une onde entière, si l'inclinaison α est de $\frac{1}{20}$. Comme il y a toujours une compensation plus ou moins parfaite des erreurs, on en profite pour augmenter soit le nombre des éléments, soit l'inclinaison α.

De cette façon on peut essayer, avec des chances sérieuses de succès, cinquante éléments, en donnant au plan-support une inclinaison de $\frac{1}{4}$. Il faut alors un objectif un peu plus grand pour obtenir la même puissance qu'avec l'escalier à transmission.

Par exemple, un pouvoir de résolution égal à 200.000 correspond à une différence de marche extrême de 800 millimètres, et par conséquent à un diamètre de $\frac{1}{2}$ 100.4, c'est-à-dire 200 millimètres.

Si l'on veut un pouvoir de résolution encore plus grand, on sera forcé d'augmenter le diamètre de l'objectif dans la même proportion. On pourrait peut-être essayer de supprimer l'objectif en donnant à la surface A une forme sphérique, formant ainsi une sorte d'échelon concave.

Le second procédé est semblable au précédent, si ce n'est qu'on

taille chaque lame indépendamment des autres, en lui donnant la hauteur nécessaire pour le retard qu'on veut produire. Après une première taille approximative, on appuie les lames sur deux plans-guides A et B (*fig.* 7 et 8).

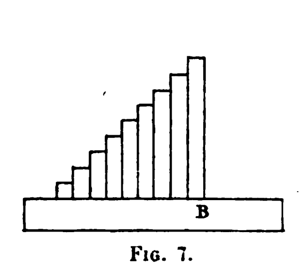


Fig. 7.

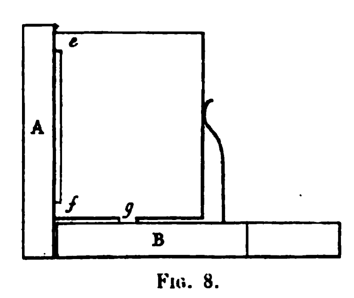


Fig. 8.

On use les pattes *e* et *f* pour amener les surfaces réfléchissantes au parallélisme, et ensuite on use la patte *q* pour leur donner la hauteur exacte.

On vérifie cette hauteur, comme aussi le parallélisme au moyen de l'interféromètre : 1° d'une manière approximative, avec les franges colorées, en lumière blanche, et 2° rigoureusement, en employant une lumière homogène.

Une variante dans le réglage du parallélisme et de la hauteur des lames est la suivante : la surface réfléchissante de la lame et la surface inférieure font entre elles un petit angle, de façon qu'en agissant sur la vis latérale (*fig.* 9) la lame s'élève. Le réglage du parallélisme se fait en usant les supports.

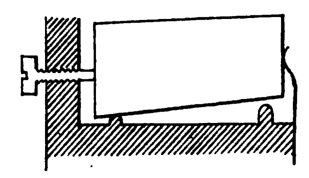


Fig. 9.

Ces procédés sont, à vrai dire, un peu délicats ; mais des expériences préliminaires m'ont donné la conviction qu'avec de la patience on peut espérer le succès.

Sur la décomposition d'un courant à haut potentiel en une série de décharges disruptives;

Par M. H. Abraham (¹).

1. Chacun sait que, si l'on envoie dans un circuit, en suite rythmée, les décharges successives d'un condensateur, on obtient dans ce circuit un courant, en quelque sorte permanent. Inversement, Gaugain, par exemple, a montré que la décharge d'une bouteille de Leyde peut être fractionnée en une série de décharges disruptives rythmées. Dans ce dernier cas on peut dire, aussi, que le *courant* de décharge de la bouteille de Leyde a été *décomposé* en une série de décharges disruptives. Un tel phénomène peut-il se présenter avec les courants à haut voltage fournis par les appareils d'induction? On sait que Hagenbach et Zehnder ont tenté d'expliquer de cette manière les effets particuliers de l'*étincelle efficace* de Hertz. Je me propose de montrer ici que le courant alternatif fourni par un transformateur à haut voltage peut être, en effet, très régulièrement décomposé en une succession de décharges disruptives.

Donnons-nous, donc, un transformateur à haut voltage, actionné par un courant alternatif. Mettons les armatures d'un condensateur en connexion avec les pôles du transformateur. Plaçons, enfin, un *déflagrateur* en dérivation, c'est-à-dire de façon que ses deux électrodes communiquent respectivement avec les deux armatures du condensateur.

Nous devrons, en outre, pouvoir injecter un courant d'air dans le déflagrateur.

Mais examinons, d'abord, ce qui se passe si l'on opère sans soufflage.

2. En fournissant au transformateur un courant suffisant, on établit une véritable *flamme* dans le déflagrateur. Le courant induit passe alors dans une sorte de conducteur souple, constitué par de l'air chaud, dont la haute température est maintenue par l'effet Joule ordinaire. L'éclat de cette *flamme* suit les variations d'intensité du courant. Au miroir tournant, on la voit s'éteindre presque complètement à chaque alternance et se *rallumer* ensuite spontanément.

(¹) Séance du 5 mai 1899.

Elle se comporte un peu comme l'arc, ayant, comme lui, un pôle plus lumineux que l'autre.

La résistance qui équivaudrait à cette flamme est, du reste, très grande; et le transformateur n'est nullement en *court circuit*. Avec une flamme de 2 centimètres, par exemple, et un courant de 48,5 milliampères, la force électromotrice aux pôles du déflagrateur est de 2.530 volts, ce qui correspondrait à une résistance de 53.000 ohms.

Si l'on diminue l'intensité, on voit la section de la flamme diminuer; sa résistance doit donc croître. Elle croît, en effet, et plus vite que l'intensité ne diminue; de sorte qu'en faisant décroître l'intensité on fait croître le voltage. Avec la même longueur de flamme que tout à l'heure, on trouve une force électromotrice de 3.400 volts, quand l'intensité est réduite à 20 milliampères, ce qui correspondrait à une résistance de 170.000 ohms.

Il convient de remarquer que le transformateur doit non seulement fournir le courant alternatif qui traverse le déflagrateur et y crée la flamme dont nous parlons; mais, en outre, à chaque demi-période, cet appareil doit encore débiter l'électricité nécessaire pour charger le condensateur et le porter à la différence de potentiel E que nous venons de constater entre les électrodes du déflagrateur.

Dès lors, si l'on diminue progressivement l'intensité du courant (1), il faut de plus en plus d'électricité pour charger le condensateur (E augmentant quand I diminue). Il est donc impossible que le régime de la flamme stable puisse se maintenir constamment, car il arriverait nécessairement un moment où, pour se charger au potentiel E, le condensateur absorberait plus d'électricité que n'en débite le transformateur. A ce moment, on sera nécessairement passé à un régime comportant des décharges disruptives.

Tout d'abord on aura vu disparaître le rallumage spontané de la flamme. Maintenant, au début de chaque demi-période du courant, le condensateur se charge, mais il ne passe rien dans le déflagrateur. Quand le voltage a atteint une valeur convenable, le déflagrateur fonctionne brusquement, et la décharge disruptive, l'étincelle, est capable d'allumer une flamme qui dure alors jusque vers la fin de la demi-période.

C'est ce que montre la *fig.* 1, image d'une flamme décomposée au

---

(1) Ou bien si l'on augmente la capacité du condensateur.

miroir tournant et fixée par la photographie (1). On y retrouve, en passant, l'inégalité d'action actinique des deux pôles.

Si l'intensité du courant diminue encore (ou bien si l'on augmente encore la capacité du condensateur), il arrive bientôt que, le condensateur s'étant chargé, puis déchargé, le courant n'a pas atteint, à cet instant, une valeur qui suffise à l'entretien de la flamme. Alors, la flamme n'existant pas, le condensateur se chargera une seconde fois, et la seconde décharge disruptive amorcera la flamme, à moins que celle-ci ne se rallume qu'après trois décharges, ou quatre... ou,



FIG. 1.

même, ne se rallume plus... Le courant à haut voltage est maintenant décomposé en une succession de décharges disruptives qui se répètent à chaque demi-période du courant alternatif.

3. Ce que nous venons de dire laisserait croire que, pour un même déflagrateur, la *flamme* et les *décharges disruptives* sont deux phénomènes essentiellement distincts, entre lesquels n'existerait pas une gradation continue de propriété. En réalité, cette gradation continue existe.

Quand une étincelle éclate, elle modifie d'une certaine façon le volume d'air qui l'enveloppe (elle l'échauffe, en particulier). Or il se trouve que, pour de l'air ainsi modifié, le potentiel explosif est moindre que pour de l'air neuf. Si donc l'air modifié n'est pas très rapidement entraîné, la seconde décharge se fera sous un potentiel plus faible ; elle sera donc moins nourrie que la première. La troisième décharge, puis la quatrième, seront encore plus grêles, et finalement la flamme pourra se rallumer *progressivement*, dans cette succession d'étincelles de plus en plus grêles, se succédant de plus

(1) Un appareil photographique visait la flamme. Mais entre l'objectif et la plaque on interposait un prisme à réflexion totale qui tournait (oscillation pendulaire) autour du faisceau incident.

en plus rapidement, qui formeront la transition continue entre les deux régimes, celui de la flamme et celui des décharges disruptives distinctes.

Il est malaisé de maintenir l'intensité du courant à la valeur qui convient pour que ce régime de transition s'établisse de lui-même. Mais on peut le réaliser artificiellement en prenant un courant trop intense, qui donne une flamme stable, puis en soufflant plus ou moins fort sur cette flamme, assez fort pour que la flamme soit brisée et ne soit pas seulement orientée par le courant d'air, mais sans arriver aux soufflages énergiques qui donnent le régime stable des décharges distinctes et indépendantes.

Nous avons reproduit par la photographie l'aspect d'une étincelle ainsi médiocrement soufflée[1]. C'est la *fig.* 2. On voit les étincelles successives passer l'une après l'autre dans la même masse d'air, qui s'éloigne relativement peu vite, jusqu'à ce qu'elles recommencent à éclater directement entre les électrodes, sans aller suivre un chemin détourné devenu trop long, et pour lequel le potentiel

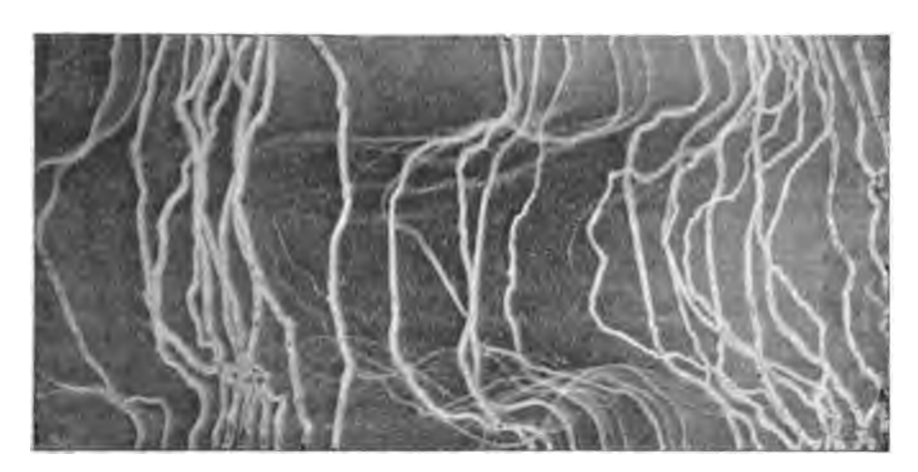


Fig. 2.

explosif, d'abord décroissant, puis progressivement croissant, a fini par atteindre et dépasser celui qui correspond à l'étincelle directe.

On obtient des résultats de même ordre avec ce que l'on a appelé le soufflage magnétique de l'arc, qui se comporte exactement comme

(1) Même dispositif optique que pour la *fig.* 1.

un très médiocre soufflage à l'air ; c'est ici la force électrodynamique qui agit sur le conducteur souple qu'est l'air chaud pour l'éloigner des électrodes.

4. Nous allons, maintenant, montrer, au contraire, qu'en employant un soufflage très énergique le régime de la décomposition du courant en décharges disruptives est un régime stable et régulier.

En premier lieu, le flux d'étincelles doit suivre les variations du courant (secondaire), se ralentir au moment où ce courant s'annule, s'accélérer, au contraire, au moment du maximum d'intensité. Et comme, dans le transformateur, le courant primaire et le courant secondaire ont sensiblement même phase, ces observations doivent s'appliquer aussi au courant primaire.



Fig. 3.

Pour démontrer qu'il en est bien ainsi, on a projeté l'image de l'étincelle sur la plaque photographique, en employant comme système optique le miroir concave d'un galvanomètre d'Arsonval. Au moment de faire la photographie on envoyait, dans le galvanomètre, une dérivation du courant primaire, et l'on descendait lentement la plaque. L'oscillation du cadre mobile suit la variation du courant [1], et les

---

(1) Il y a, en réalité, une différence de phase d'environ une demi-période.

flux d'étincelles doivent se photographier surtout au maximum de l'élongation. C'est bien ce que l'on voit sur la *fig.* 3, qui a été obtenue de cette manière.

Mais cette démonstration n'est pas suffisante. Il faut établir que le flux d'étincelles se répartit en suivant *quantitativement* les variations d'intensité du courant. Si, par exemple, l'intensité du courant a pour expression :

$$\sin \omega t,$$

nous devons pouvoir nous assurer que l'intervalle de temps qui sépare deux étincelles doit être (très sensiblement) proportionnel à :

$$\frac{1}{\sin \omega t}.$$

Pour l'établir, il nous suffit d'introduire un condensateur (un microfarad par exemple) dans le circuit du galvanomètre. Nous créons ainsi une différence de phase d'un quart de période entre le courant et l'oscillation du galvanomètre, en sorte que l'élongation varie maintenant comme :

$$\cos \omega t,$$

il en résulte que la *vitesse* est exprimée par :

$$\sin \omega t.$$

Il ne reste plus qu'à vérifier que l'intervalle de temps qui sépare deux étincelles consécutives est à chaque instant en *raison inverse de la vitesse* du miroir oscillant ; ou, enfin, que les images successives des étincelles sont *très sensiblement équidistantes*. Or c'est un fait aisé à constater, notamment sur la photographie reproduite par la *fig.* 4 (qui a servi pour deux expériences, comme nous le dirons dans un instant).

5. Les contrôles de la régularité du phénomène peuvent être multipliés.

Si l'on change l'intensité du courant primaire, le courant secondaire varie, comme on sait, dans la même proportion ; et si, par exemple, le courant devient deux fois plus intense, les étincelles disruptives devront se succéder, toutes, deux fois plus vite. Or, si l'on conserve le dispositif photographique de tout à l'heure, l'oscillation du galvanomètre sera devenue deux fois plus ample, et cette variation, compensant la variation de fréquence des étincelles,

les images actuelles devront avoir la même équidistance que pour la première valeur de l'intensité.

L'expérience vérifie, naturellement, ces considérations presque

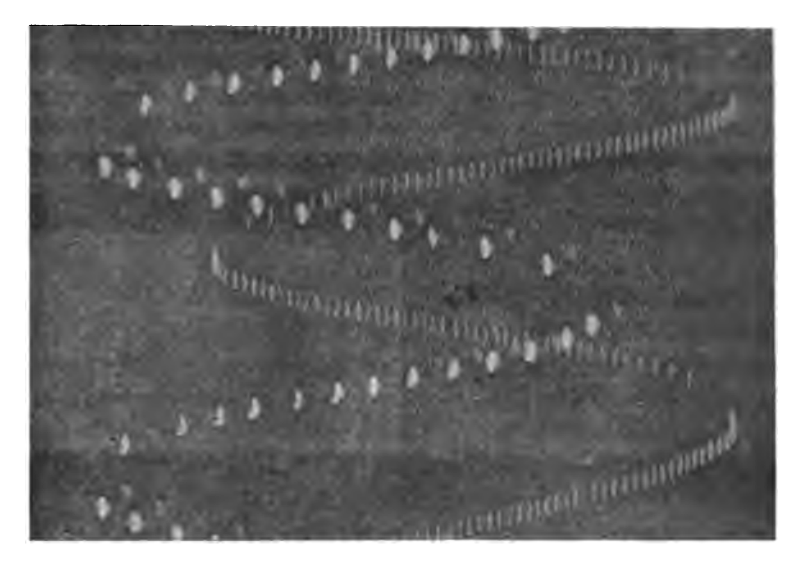


Fig. 4.

évidentes. Il en est de même des variations que l'on prévoit devoir résulter d'un changement de distance explosive.

Voici encore une vérification.

Employons d'abord, comme capacité, deux bouteilles de Leyde semblables, groupées *en cascade*, et photographions le flux d'étincelles avec le miroir du galvanomètre, comme nous l'avons expliqué. Puis recommençons exactement la même expérience, mais en groupant les bouteilles de Leyde *en parallèle*. La capacité est maintenant quatre fois plus forte; donc les étincelles doivent se succéder, et se succèdent, en effet, quatre fois moins vite. C'est, précisément, cette double expérience que représente la *fig.* 4.

Nous nous sommes, enfin, posé une dernière question : Jusqu'à quelle limite peut-on pousser cette décomposition d'un courant en décharges successives? La limite dépend essentiellement de la puissance du soufflage. En utilisant un jet d'anhydride carbonique, détendu à 3 kilogrammes, nous avons pu obtenir plus de *cent mille* étincelles par seconde. Mais, avec un soufflage beaucoup plus mo-

déré (air à la pression de 2 mètres d'eau), la décomposition se fait encore très bien. La *fig.* 5 obtenue dans ces conditions (1) montre deux cents étincelles pour une demi-période du courant, soit *dix mille* étincelles par seconde.



Fig. 5.

6. *En résumé*, le phénomène que nous étudions, la *décomposition d'un courant à haut potentiel en une succession de décharges disruptives*, est un phénomène parfaitement régulier. Il se produit tel qu'on le calculerait *a priori*. On peut l'isoler et le maintenir dans de très larges limites de stabilité (2).

La loi du mélange des gaz. — Nouvel appareil de démonstration;

Par M. P. Sacerdote (3).

PREMIÈRE PARTIE.

I. L'expérience classique de Berthollet avait conduit à énoncer la loi suivante :

Loi. — *Le mélange* (à température et volume constants) *de deux gaz primitivement à la même pression s'accomplit sans variation de pression.*

Mais Berthollet n'avait opéré que sur ($H + CO^2$) et dans des conditions de précision telles qu'une faible variation de pression pouvait lui avoir échappé.

---

(1) Plaque immobile; objectif photographique et prismes à réflexion totale, comme pour la *fig.* 1. On photographiait une fente étroite placée immédiatement devant l'étincelle. Les petites irrégularités des images sont dues aux petits déplacements irréguliers des étincelles successives, combinés avec les aberrations de l'objectif employé.

Il va sans dire que différents expérimentateurs ont déjà plus ou moins nettement signalé certains des faits que nous venons de passer en revue; nous avons donné ailleurs l'indication de ces travaux.

(2) *Comptes Rendus*, t. CXXVIII, p. 991; 1899.

(3) Séance du 5 mai 1899.

II. M. Leduc, en soumettant cette loi à un contrôle indirect fondé sur la mesure des densités des gaz, était arrivé à la conclusion suivante (1) :

La loi de Berthollet n'est pas vraie en général; le mélange de CO^2 avec SO^2, par exemple, doit s'accomplir avec une augmentation de pression de $1^{mm},25$ de mercure.

Ces mesures de densités sont susceptibles d'une très grande précision, mais, en outre, d'une habileté expérimentale extrême; elles exigent une pureté presque absolue des gaz; — de plus, elles ont l'inconvénient de faire dépendre la vérification cherchée des valeurs d'un certain nombre des constantes numériques relatives aux gaz.

III. Je me suis proposé (2) de répéter l'expérience de Berthollet, mais en lui donnant toute la précision dont sont susceptibles nos méthodes actuelles de mesure :

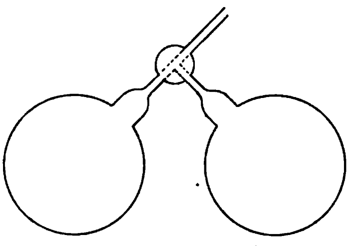


Fig. 1.

Appareil. — Deux ballons de verre (*fig.* 1), épais de 750 centimètres cubes, sont réunis par un robinet à trois voies de 6 millimètres de diamètre pour permettre une rapide diffusion des gaz; les cols se raccordent à angle droit pour qu'on puisse, après le remplissage de l'un des ballons, l'isoler complètement; on a parfaitement desséché l'appareil en le chauffant pendant plusieurs heures, tandis qu'alternativement on y faisait le vide et on laissait rentrer du gaz carbonique sec.

Expériences. — Pour remplir l'un des ballons, on le maintient vide, pendant une heure au moins, dans la glace râpée fondante, et l'on y laisse rentrer bulle à bulle le gaz desséché par son passage sur l'anhydride phosphorique ; on établit pendant quelques minutes la communication du ballon avec l'atmosphère, puis on l'isole, et au

(1) Leduc, *C. R.* du 17 janvier 1898.
(2) Sacerdote, *C. R.* du 24 janvier 1898.

même instant on détermine la pression atmosphérique au $\frac{1}{100}$ de millimètre, avec un bon baromètre Regnault-Leduc ; immédiatement après on procède de même pour l'autre ; les deux remplissages étant ainsi effectués à quelques heures à peine d'intervalle, les pressions des deux gaz sont égales à 1 ou 2 dixièmes de millimètre, et, comme les volumes des ballons sont eux-mêmes presque égaux, on peut prendre comme pression du remplissage la moyenne des deux hauteurs barométriques observées (toutes corrections faites). On laisse la diffusion s'effectuer pendant plusieurs jours ; on l'active par des variations de température ; on détermine enfin la pression du mélange, en reliant le ballon à un manomètre de Regnault.

On a pris le soin d'établir *a priori*, entre les deux branches de ce manomètre, une dénivellation du mercure correspondant à la différence des hauteurs barométriques le jour du remplissage et celui de la mesure, et aussi à la variation de pression produite par le mélange des deux gaz, variation connue approximativement par une expérience préliminaire ; en ouvrant le robinet du biballon, on n'observe donc qu'un mouvement très faible du mercure ; la correction à effectuer sur la pression lue est petite, ce qui est très avantageux, cette correction étant forcément un peu incertaine, puisqu'elle exige la connaissance du volume des tubes de communication.

Résultats. — 1° (CO^2 et SO^2) :

Pression de $CO^2 = 765,64$	moyenne...........	$765^{mm},69$
Pression de $SO^2 = 765,73$		
Après quatre jours : pression du mélange........		$766^{mm},90$
Après sept jours : pression du mélange..........		$767^{mm},05$

Le mélange de ces deux gaz s'effectue donc avec une augmentation de pression de $1^{mm},36$ *de mercure* (1) ; *la loi de Berthollet est en défaut pour ce cas.*

2° (CO^2 et Az^2O) :

Pression de remplissage (2)............	$759^{mm},40$
Pression du mélange..................	$759^{mm},48$

(1) M. Leduc avait trouvé par la mesure des densités que le mélange de CO^2 et SO^2 devait être accompagné d'une augmentation de pression de $1^{mm},25$; mais la pression du mélange était de 66 centimètres, au lieu de 77 centimètres.

(2) Dans cette mesure, la pression initiale est identiquement la même pour les deux gaz, car j'avais changé un peu le mode opératoire ; après avoir rempli successivement les deux ballons, chacun de l'un des gaz, on établissait pendant un

L'augmentation de pression très faible ($0^{mm},08$) peut être attribuée aux erreurs d'expériences : *la loi de Berthollet s'applique donc sensiblement à ce mélange.*

Note : Dans cette expérience, la diffusion n'ayant duré que deux jours, je me suis assuré, en analysant les mélanges gazeux des deux ballons, que néanmoins elle était à peu près achevée ; on avait, du reste, activé cette diffusion en chauffant légèrement et alternativement chacun des deux ballons.

3° (H et O). — Les mesures relatives à ce mélange ont été faites en collaboration avec M. Daniel Berthelot [1].

Voici le résultat de la première expérience :

Pression de remplissage..............	$765^{mm},80$
Après quatre jours de diffusion........	$765^{mm},88$
Après vingt et un jours de diffusion...	$765^{mm},95$

A ce moment, l'augmentation de pression était donc déjà de $0^{mm},15$ de mercure environ, et l'analyse des gaz contenus dans chacun des deux ballons a montré que, malgré la longue durée de cette diffusion, celle-ci n'était encore accomplie qu'aux 2/3 environ.

Dans une seconde expérience	pression de remplissage..	$755^{mm},15$
	après six jours...........	$752^{mm},36$

mais on avait eu soin d'activer le mélange en entourant alternativement l'un et l'autre des ballons de glace et d'eau à 40° ; cette opération avait été répétée une quinzaine de fois ; l'analyse a montré que, dans ce cas, le mélange avait été complet.

En résumé : *la loi de Berthollet ne s'applique pas non plus au mélange de l'hydrogène avec l'oxygène*, puisque ce mélange s'effectue avec une augmentation de pression de $0^{mm},20$ de mercure environ [2].

court instant la communication de ces deux ballons entre eux et avec l'atmosphère; on lisait au même instant le baromètre dont l'indication donnait donc la pression de remplissage; puis, en tournant le robinet, on isole les ballons de l'atmosphère et on laisse la diffusion s'opérer.

(1) Berthelot et Sacerdote. Sur le mélange des gaz et la compressibilité des mélanges gazeux (*C. R.*, du 27 mars 1899).

(2) Signalons que M. Daniel Berthelot (*C. R.*, du 13 juin 1898), en utilisant la formule de Van der Waals et les résultats numériques des expériences sur la compressibilité et la densité des gaz, est parvenu à calculer les variations de pression qui doivent se produire par le mélange des gaz ; les résultats auxquels il arrive s'accordent très bien avec des expériences citées plus haut. Voir aussi à ce sujet : Van der Waals (*C. R.*, du 27 juin 1898, p. 156) ; Daniel Berthelot (*C. R.*, du 27 juin 1898, p. 1857); Leduc (*C. R.*, du 27 juin 1898, p. 1859).

IV. *Nouvel appareil de démonstration.* — Les expériences avec le biballon que je viens de décrire sont des expériences délicates, qui durent plusieurs jours et qui ont, en outre, l'inconvénient de faire dépendre l'augmentation de pression à observer d'une série de lectures au baromètre et au manomètre.

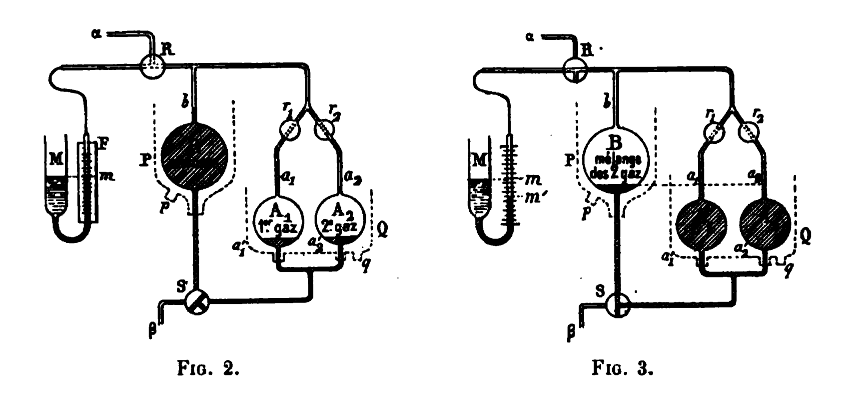


Fig. 2. Fig. 3.

J'ai cherché à réaliser un appareil de démonstration (*fig.* 2 et 3) qui permette de montrer à un auditoire, par une expérience de quelques minutes, cette augmentation de pression qui accompagne le mélange de certains gaz.

Description [1]. — $A_1 A_2$, boules de verre de volumes sensiblement égaux (125 centimètres cubes environ).

B, boule de verre de capacité un peu supérieure à la somme de celles de A_1 et A_2, et placée à un niveau plus élevé que celles-ci.

Les tubes de communication qui relient ces boules, comme l'indique la figure, ont environ 2 millimètres de diamètre de canal.

r_1, r_2, robinets simples ; R et S, robinets à trois voies ;

α, tube de communication avec l'atmosphère qui sert, en outre, à relier l'appareil par l'intermédiaire d'un caoutchouc à vide, soit avec une machine pneumatique, soit avec les appareils producteurs des gaz ;

β, tube effilé par lequel on pourra aspirer du mercure pendant le remplissage ;

M, manomètre à acide sulfurique : la branche M a environ 3 cen-

---

[1] Cet appareil a été construit d'après mes indications par M. Chabaud ; il est tout en verre et est fixé sur une planchette de bois verticale avec pied.

timètres de diamètre, tandis que m n'a guère que 2 millimètres [1]; le niveau est donc sensiblement invariable en M, et les variations de pression se traduisent entièrement par le mouvement de l'acide sulfurique m; cette branche porte une division en millimètres et une fente F est percée derrière dans la planche de bois pour permettre de projeter si on le désire ;

P et Q, récipients en zinc que l'on remplit de glace pour maintenir les ballons à 0° pendant toute l'expérience ; l'eau de fusion s'écoule par des tubes de caoutchouc adaptés aux tubulures p et q.

Remplissage. — Les robinets r_1 et r_2 étant ouverts et les récipients P et Q remplis de glace râpée :

1° On place R en ⊕ et S en ⊕ ; on fait plonger β dans une capsule contenant du mercure, puis on relie α à une machine pneumatique ordinaire par un caoutchouc à vide ; on fait ainsi monter le mercure dans B jusqu'en b, par exemple ;

2° On tourne alors le robinet S en ⊖, le mercure monte dans A_1 et A_2 jusqu'en a_1 et a_2, par exemple ; on tourne S dans la position ⊘ pour immobiliser le mercure ; on fait le vide dans l'espace Rr_1r_2 ;

3° On ferme r_2 et on adapte en α l'appareil producteur du premier gaz ; en tournant S en ⊖, le mercure s'écoule de A_1 et y est remplacé par du gaz ; quand le mercure est descendu dans la région a'_1, on remet S en ⊘ et on ferme r_1 ;

4° On refait le vide dans l'espace Rr_1r_2, puis on adapte en α l'appareil producteur du deuxième gaz [2] ; on ouvre en r_2 et on remet S en ⊖ ; la boule A_2 se remplit de même du deuxième gaz jusque vers a'_2 ; on replace S en ⊘, on ferme r_2, et le remplissage est terminé.

Expérience. — Lorsque le moment est venu de faire l'expérience, il suffit :

1° De placer le robinet R dans la position ⊖, puis d'ouvrir r_1 et r_2 [3] (*fig.* 1) ; le gaz des boules A_1 et A_2, des tubes de communication et de la branche m du manomètre se met en équilibre de pression avec l'atmosphère ; le niveau de l'acide sulfurique est en m ;

---

(1) Cette branche a été faite aussi étroite pour que la variation de niveau en m ne change que d'une façon négligeable le volume occupé par le mélange gazeux.

(2) Ces gaz doivent être aussi purs que possible et surtout *bien secs*.

(3) Comme les gaz peuvent avoir été emmagasinés dans A_1 et A_2 à des pressions un peu supérieures à la pression atmosphérique, il est bon d'ouvrir r_1, puis de le refermer, d'ouvrir r_2, puis le refermer et finalement ouvrir r_1 et r_2 ; on évite ainsi que du gaz chassé de l'une des boules entre dans l'autre.

2° On tourne alors le robinet R dans la position ⊖, puis le robinet S en ⊕ (*fig.* 2); le mercure s'écoule de B et, en montant dans A_1 et A_2, il en chasse simultanément les deux gaz, qui arrivent parfaitement mélangés dans B; — *l'écoulement terminé* (il ne dure que quelques secondes), *on constate, par la dénivellation de l'acide sulfurique de m en m' une augmentation de pression qui atteint près de* 9 *millimètres d'acide sulfurique pour* ($CO^2 + SO^2$) *et plus de* 2 *centimètres d'acide sulfurique pour* ($H + SO^2$) [1].

Remarque. — Si l'on fait l'expérience en remplissant les deux boules A_1 *et* A_2 du même gaz (par exemple de l'air), on constate, comme cela devait être, que l'écoulement du mercure produit le mélange sans variation de pression.

Remarque. — On pourrait craindre que, lorsque le mélange viendra s'emmagasiner dans la boule B, une partie de gaz se condense sur les parois de cette boule et diminue ainsi la pression à observer; pour remédier à cela, il suffit, au début du remplissage, de faire pénétrer dans B du gaz SO^2, puis de ne faire fonctionner la machine pneumatique que juste autant qu'il est nécessaire pour produire l'ascension du mercure dans B, sans jamais faire dans cette boule un vide avancé; les parois de B restent ainsi en quelque sorte saturées de gaz et ne fixeront plus rien lorsque le mélange y pénétrera.

Remarques. — Cet appareil est essentiellement un appareil de démonstration; mais ses indications sont néanmoins assez régulières et assez précises pour permettre de l'employer comme appareil de mesure, surtout si l'on prend toutes les précautions que j'ai indiquées plus haut.

Dans ce cas, il faut toutefois faire quelques corrections, dont la principale est relative à la diminution que subit la pression du mélange, par suite de l'augmentation de volume correspondant à la dénivellation *mm'*; les dimensions des tubes de communication et de la branche *m* du manomètre ont été choisies de façon à rendre ces corrections très petites; leur ensemble conduit à ajouter à la dénivellation observée à peine le 1/10 de sa valeur.

---

[1] Pendant l'écoulement du mercure, il vaux mieux tourner R en ⊕, pour éviter les mouvements que l'afflux du gaz produirait en *m*; l'écoulement terminé, on replace R en ⊖, et on voit le niveau descendre brusquement de M en *m'*.

TABLEAU DES RÉSULTATS.

Mélanges.	Augmentations de pressions observées [1]. avec le biballon (en millimètres de mercure).	avec l'appareil de démonstration (en millimètres d'acide sulfurique) [2].
$CO^2 + Az^2O$	$0^{mm},08$	$(1/2^{mm})$
$H + O$	$0^{mm},21$	$(1^{mm},1/2)$
$CO^2 + SO^2$	$1^{mm},36$	$9^{mm},1/2$
$H + SO^2$	»	$26^{mm},00$

On voit, d'après ces résultats, que *la loi de Berthollet s'applique très sensiblement à* ($CO^2 + Az^2O$); *elle est moins bonne pour* ($CO^3 + SO^2$) *et devient tout à fait inexacte pour* ($H + SO^2$). On peut se rendre compte de ces différences en remarquant que CO^2 et Az^2O ont même masse moléculaire et sont dans des états correspondants (à 0° et sous la pression atmosphérique); les molécules des deux gaz sont donc *aussi identiques que possible au point de vue physique*, tandis qu'il n'en est plus de même pour CO^2 et SO^2 et encore bien moins pour H et SO^2.

DEUXIÈME PARTIE.

Transformation de l'énoncé de la loi de Berthollet. — Avant de quitter ce sujet, je veux insister sur les transformations que l'on peut faire subir à l'énoncé de la loi de Berthollet, car les différents énoncés de cette loi ont souvent donné lieu à des confusions et à des erreurs.

§ 1. *Transformation de l'énoncé de la loi de Berthollet sans supposer que les gaz suivent la loi de Mariotte.* — Soient (vp), $(v'p')$, ..., les volumes et pressions des différents gaz; imaginons qu'on les ramène séparément à une même pression P, et soient alors $(x, y, \ldots)$ leurs volumes; ceci fait, établissons les communications entre les différents récipients; la diffusion s'opère, et la loi nous indique que la pression du mélange reste égale à P; quant à son volume, il est

$$V = x + y + \ldots \quad (1)$$

et cette relation (1) se traduit par l'énoncé suivant :

Le volume d'un mélange de gaz est égal à la somme des volumes

---

(1) Correction effectuée.

(2) Les nombres entre parenthèses sont ceux qui correspondent aux millimètres de mercure de la première colonne; ils n'ont pas été déterminés directement avec l'appareil de démonstration.

qu'occuperaient séparément chacun des gaz soumis à la pression du mélange (c'est ce que nous appellerons l'*énoncé des volumes*).

Application de la loi. — On donne (vp), $(v'p')$, ... *pour différents gaz ; on mélange ces gaz dans un volume* V ; *calculer la pression* P *du mélange, connaissant les coefficients d'écart* A, A', ..., *de chacun de ces gaz par rapport à la loi de Mariotte* [1].

On a :

$$\frac{xP - vp}{vp} = A(P - p);$$

d'où :

$$x = \frac{vp}{P}[1 + A(P - p)];$$

de même y, z, ..., l'équation (1) devient :

$$(1') \qquad V = \frac{vp}{P}[1 + A(P - p)] + \frac{v'p'}{P}[1 + A'(P - p')] + \dots$$

ou

$$(1'') \quad VP = vp[1 + A(P - p)] + v'p'[1 + A'(P - p')] + \dots,$$

équation du premier degré, d'où l'on déduit la valeur de P.

§ 2. *Transformation de l'énoncé de la loi de Berthollet en supposant que les gaz suivent la loi de Mariotte.* — L'équation (1) devient alors, puisque $A = A' = \dots = 0$:

$$(2) \qquad V = \frac{vp}{P} + \frac{v'p'}{P} + \dots,$$

ou ce qui revient au même :

$$(3) \qquad P = \frac{vp}{V} + \frac{v'p'}{V} + \dots$$

L'équation (2) se traduit par l'*énoncé des volumes*, et l'équation (3) par l'*énoncé des pressions ; la pression d'un mélange de gaz est égale*

---

[1] Soit vp le volume et la pression d'un gaz; on le soumet à une pression P. Il prend un volume x et $xP \lesseqgtr vp$, puisque le gaz ne suit pas la loi de Mariotte ; *je rappelle qu'on définit le coefficient* A *d'écart à la loi de Mariotte*, par la relation

$$\frac{xP - vp}{vp} = A(P - p).$$

Pour les valeurs de ces coefficients A entre 1 et 2 atmosphères, voir : Leduc et Sacerdote, *Compressibilité des gaz au voisinage de la pression atmosphérique* (*C. R.*, du 2 août 1897).

à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz répandu seul dans le volume du mélange.

Conclusion. — Au point de vue du mélange des gaz, on doit diviser les gaz en trois catégories :

1° *Les gaz qui obéiraient à la loi de Berthollet et aussi à celle de Mariotte.* — Pour ces gaz, l'énoncé de la loi de Berthollet pourrait se transformer indifféremment en l'*énoncé des volumes* ou *celui des pressions* (§ 2);

2° *Les gaz qui suivent la loi de Berthollet, mais non celle de Mariotte* [exemple : (CO^2 et Az^2O) (Az et O)]. — Pour ces gaz, on a vu (§ 1) que l'énoncé de *la loi Berthollet peut se transformer rigoureusement en l'énoncé des volumes;* il est facile de voir qu'*au contraire l'énoncé des pressions conduirait pour ces gaz à une absurdité.*

Prenons, en effet, deux ballons de même volume V contenant l'un CO^2 et l'autre Az^2O à la pression de 76 centimètres de mercure :

CO^2 occupant seul le volume de deux ballons aurait une pression de....................	$38^{cm},10$
Az^2O occupant seul le volume de deux ballons aurait une pression de....................	$38^{cm},11$

calculées au moyen des coefficients A d'écart à la loi de Mariotte de ces deux gaz; l'énoncé des pressions indiquerait donc qu'en mettant les deux ballons en communication, la pression du mélange devient $(38,10 + 38,11) = 76^{cm},21$, résultat qui est la négation de cette loi de Berthollet que l'énoncé serait censé traduire.

Si l'on imagine encore que dans ces deux ballons il y ait le même gaz, l'énoncé des pressions nous conduirait à cette autre absurdité que le mélange des deux portions d'un même gaz à la même pression doit s'effectuer avec une augmentation de pression [1] [2].

---

[1] M. Amagat avait déjà signalé ce fait que, pour les gaz qui ne suivent pas la loi de Mariotte, l'*énoncé des volumes est le seul possible.* — En utilisant les isothermes de l'azote, l'oxygène et l'air, qu'il avait déterminées dans un premier travail jusqu'à 400 atmosphères, puis dans un autre jusqu'à 3.000 atmosphères, il avait, en outre, montré que *l'énoncé des volumes est applicable, dans ces énormes limites de pression, au mélange d'azote et d'oxygène qui constitue l'air* (*Annales de Chimie et de Physique*, 1880 : Sur la compressibilité des gaz sous de fortes pressions, et *C. R.*, du 11 juillet 1898).

[2] M. Leduc (*C. R.*, du 17 janvier 1898) avait été également conduit, par l'étude de la composition de l'air, à rejeter l'énoncé des pressions pour celui des volumes.

Cherchons, en effet, la proportion x en volumes de l'oxygène contenu dans l'air en nous appuyant sur les densités de l'oxygène et de l'azote; nous devrons écrire : $x \times 1,10523 + (1 - x) \times 0,97203 = 1$, qui donne $x = 0,21$ sensiblement, et la pro-



3° *Les gaz qui ne suivent pas la loi de Berthollet* (telle qu'elle a été énoncée au début), exemple : (CO^2 et SO^2) (H et SO^2). — Pour ces gaz, il n'y a *plus de loi du mélange des gaz; aucun des deux énoncés n'est rigoureusement applicable.*

On peut voir toutefois que l'énoncé des volumes conduirait pour la pression du mélange à une valeur beaucoup plus approchée de la valeur réelle que l'énoncé des pressions; soit par exemple : CO^2 et SO^2 primitivement à la pression 76 centimètres et qui, en doublant de volume, prendraient des pressions ($38^{cm},10$) et ($38^{cm},38$).

L'énoncé des pressions conduirait pour la pression du mélange à ($38^{cm},10 + 38^{cm},38$), c'est-à-dire..	$76^{cm},480$
L'énoncé des volumes conduirait à...............	$76^{cm},000$
(puisqu'il n'est que la transformation de la loi de Berthollet).	
Enfin l'expérience a donné, comme on l'a vu.....	$76^{cm},136$

Sur l'aimantation plane de la pyrrhotine;

Par M. Pierre Weiss[1].

I. La pyrrhotine ou pyrite magnétique, Fe^7S^8, est, comme la magnétite, une substance magnétique et cristallisée. Les cristaux sont d'apparence hexagonale; mais leur symétrie est, en réalité, inférieure. Ils sont assez rares; les plus beaux viennent du Brésil, d'un gisement épuisé de Minas Geraës. Grâce à l'obligeance de M. de Costa Sena, professeur à l'École des Mines d'Ouro Preto, à qui M. Friedel a bien voulu en demander pour moi, j'ai pu opérer sur des échantillons excellents de cette origine. Ils m'ont donné les résultats suivants :

En approchant un cristal d'un aimant, on s'aperçoit que l'attraction est nulle, quand on présente le plan de la base hexagonale perpendiculairement aux lignes de force, tandis qu'elle est très vive

---

portion en poids, 0,2321, trouvée par lui expérimentalement. Si, au contraire, on appelle y la fraction de la pression totale due à l'oxygène, on devrait écrire d'après l'énoncé des pressions :

$y \times 1,10457 + (1 - y)\, 0,97195 = 1$, d'où $y = 0,2112$, et la proportion en poids est 0,2333, nombre qui présente avec les expériences directes des écarts inadmissibles.

[1] Séance du 21 avril 1899.

pour toute autre orientation. Il y a donc une direction pour laquelle l'aimantation est impossible et, par une généralisation immédiate, on est conduit à supposer que *la matière ne peut s'aimanter que dans le plan perpendiculaire à cette direction*, que j'appellerai, pour abréger : *plan magnétique.*

Je me suis proposé d'abord d'établir cette propriété avec précision, au moyen d'expériences d'induction, faites par la méthode balistique.

1° Une sphère taillée dans un cristal et une bobine induite qui l'entoure peuvent tourner, indépendamment l'une de l'autre, d'angles connus, dans un champ magnétique. Cette expérience donne, par la rotation de la bobine, la grandeur de l'aimantation dirigée suivant le plan magnétique, et, par la rotation de la sphère de pyrrhotine, la différence entre l'aimantation parallèle et l'aimantation perpendiculaire au plan magnétique. Ces deux quantités sont les mêmes, à la précision des mesures près $\left(\frac{1}{100}\right)$. L'aimantation perpendiculaire au plan magnétique est donc nulle.

2° J'ai cherché à démontrer cette nullité de l'aimantation perpendiculaire au plan magnétique, au moyen d'une expérience de zéro, plus précise que les expériences de mesure. La sphère a été fixée à l'extrémité d'une tige cylindrique en laiton, le plan magnétique perpendiculaire à l'axe du cylindre. On fait glisser cette tige dans la perforation des noyaux d'un électro-aimant, disposé pour les expériences de polarisation rotatoire magnétique. On peut ainsi faire pénétrer la sphère dans une petite bobine fixe, placée dans le champ magnétique, ou l'en retirer. L'impulsion observée au galvanomètre balistique est extrêmement petite; certains indices permettent de l'attribuer à la non-uniformité du champ. En supposant que l'on veuille néanmoins l'attribuer à une aimantation perpendiculaire au plan magnétique, on serait conduit à assigner à celle-ci une limite supérieure égale à $\frac{1}{680}$ de l'aimantation dans ce plan. Cette expérience, faite sur deux sphères provenant d'échantillons différents, établit donc avec une entière rigueur l'existence d'une direction suivant laquelle l'aimantation est impossible.

3° En faisant tourner la sphère dans le champ magnétique, de façon à la faire passer de la position de nulle aimantation à une position de facile aimantation, par une série de positions intermédiaires, on a

déterminé, pour chacune de celles-ci, la composante de l'aimantation parallèle et la composante de l'aimantation perpendiculaire au champ. Leur résultante donne la grandeur et la direction de l'aimantation. *Cette direction est fixe par rapport au corps et contenue dans le plan magnétique.*



11. Tant qu'il s'agit de mesurer la grandeur d'une aimantation, la méthode balistique est de beaucoup la plus commode, et, dans le cas actuel, où l'on opérait sur de petits échantillons dans des champs intenses, c'était peut-être la seule applicable. Mais, en présence d'un fait aussi imprévu que la localisation du phénomène magnétique dans un plan, il était désirable de varier les procédés d'investigation. La *méthode d'arrachement*, qui se prête mal à des mesures numériques précises, peut fournir une expérience de zéro excellente pour constater l'absence de toute aimantation dans un cas déterminé. La figure ci-jointe représente l'appareil au moyen duquel l'expérience a été réalisée.

La sphère de pyrrhotine est percée, pour donner passage au fil vertical de suspension suivant une direction contenue dans le plan magnétique, de sorte que, parmi les directions horizontales, se trouvent la direction non magnétique, et, à 90° de distance, une direction contenue dans le plan magnétique. Un bouton moleté, auquel cette sphère est reliée par l'intermédiaire d'un genou de Cardan *c*, permet de diriger l'une quelconque des directions du plan horizontal

de la matière vers le pôle d'un aimant. Ces orientations sont séparées au moyen d'une aiguille qui se déplace sur un secteur divisé, lequel porte, à 90° l'une de l'autre, les indications « non magnétique » et « magnétique ».

Quand la sphère est dans la première de ces positions, on peut approcher l'aimant, au moyen d'un mouvement à vis, jusqu'au contact de celle-ci et le retirer, sans apercevoir le plus petit déplacement. Si on la fait tourner d'un angle droit, l'apparition des propriétés magnétiques se manifeste par un mouvement de plusieurs centimètres d'amplitude.

Le principal intérêt de cette curieuse propriété de la pyrrhotine est, sans doute, de fournir un point de départ nouveau pour l'analyse des phénomènes ferro-magnétiques.

Les métaux magnétiques, que l'on traite d'habitude comme s'ils étaient isotropes, sont, en réalité, des enchevêtrements de cristaux. On est donc en droit d'attendre de l'étude des propriétés de la pyrrhotine dans le plan magnétique, que je poursuis actuellement, des données plus simples que celles que l'on possède et pouvant servir à expliquer les propriétés plus complexes des corps magnétiques usuels.

Sur la variation diurne de l'électricité atmosphérique ;

Par M. A.-B. Chauveau (¹).

I

Le nombre des théories relatives à l'électricité atmosphérique est considérable. Dans une conférence faite en 1897 à l'Institution royale de la Grande-Bretagne, le professeur Schuster rappelait que, dix ans auparavant, le Dr Suchsland en avait compté vingt-cinq; quatre avaient vu le jour pendant la seule année 1884. On en trouverait plus de trente aujourd'hui; et il ne s'agit ici que des théories émises par des hommes de science véritable, dont beaucoup sont des savants illustres. Quant aux rêveries plus ou moins bizarres, nées du spectacle d'un orage et qui ont eu les honneurs de la publication, c'est par centaines qu'il faudrait les compter.

Mais, si les théories se sont multipliées, il n'en est pas de même des observations sur lesquelles ces théories devraient prendre leurs bases. Nos connaissances sont restées très vagues sur bien des points; le nombre des données précises, bien établies, est incroyablement restreint et, malgré l'initiative de quelques physiciens éminents, malgré les méthodes et les admirables instruments de mesures dont W. Thomson a doté la météorologie électrique, aucun effort véritablement sérieux n'a encore été tenté pour donner aux observations l'importance qu'elles méritent.

En fait, et dans l'état actuel de cette branche de la physique du globe, pourtant vieille de cent cinquante ans et encombrée par les hypothèses les plus diverses, il est à peu près impossible de baser sur des données expérimentales suffisantes un contrôle efficace des théories proposées.

II

Parmi ces données expérimentales encore incomplètes, il en est une qui, en raison de son caractère général, semble présenter une importance exceptionnelle. C'est la variation diurne par ciel serein. Toute théorie, pour être acceptable, doit l'expliquer; il est donc

(¹) Séance du 16 mai 1899.

indispensable d'en connaître exactement les lois. Or cette connaissance est loin d'être acquise.

On sait que, en dehors de tout accident météorologique, tel que brouillard, pluie, etc., et par le ciel le plus pur, il existe au-dessus de la surface de la terre un champ électrique. C'est ce qu'un observateur de la fin du siècle dernier, le P. Beccaria, appelait, par opposition avec les manifestations orageuses, l'*électricité douce du temps serein.*

La différence de potentiel entre le sol et un point de l'atmosphère augmentant avec la hauteur de ce point, les lignes de force du champ sont dirigées vers la terre, ou, en d'autres termes, la surface de celle-ci est recouverte d'électricité négative.

Quant à la variation, avec l'altitude, de l'intensité du champ, c'est-à-dire de la différence de potentiel entre deux points distants de 1 mètre, par exemple, suivant une ligne de force, elle est encore assez mal connue dans les couches inférieures et jusqu'à une hauteur de 1.000 mètres environ. Au delà, il semble bien résulter de plusieurs séries de mesures, assez concordantes, faites en ballon, dans ces dernières années, par M. Börnstein, M. Baschin et M. Le Cadet, que le champ diminue à mesure qu'on s'élève. Cela revient à dire que les lignes de force qui aboutissent à la terre ont leur origine dans les régions élevées de l'atmosphère ou encore que, dans ces régions, les masses électriques positives sont prédominantes.

Tels sont les faits généraux.

D'autre part, en observant la valeur de la différence de potentiel, par beau temps, entre le sol et un point déterminé pris au-dessus de sa surface, on constate que cette quantité varie dans le cours de la journée et qu'elle est soumise, comme les éléments météorologiques, température, pression, etc., à une oscillation régulière. C'est le phénomène de la variation diurne, soupçonné, dès 1752, par Lemonnier, péniblement étudié depuis, à l'aide de mesures horaires, par un petit nombre d'observateurs, et dont la détermination n'est devenue relativement facile que par l'emploi des appareils enregistreurs.

Presque tous les physiciens qui, depuis de Saussure et Schübler, se sont occupés de la question, ont reconnu que, pour le potentiel en un point, comme pour la pression atmosphérique, l'oscillation diurne est double. Elle présente deux maxima, de six heures à huit heures du soir et de neuf heures à sept heures du matin, suivant la

saison, et deux minima, moins variables, l'un vers trois heures de l'après-midi, l'autre vers quatre heures du matin.

Cependant les résultats obtenus par M. Mascart en 1879-1880, à l'aide d'un appareil enregistreur qu'il venait d'installer au Collège de France, n'avaient pas paru vérifier cette loi. En se basant sur eux, M. Mascart fut même conduit à attribuer à la variation diurne une allure toute différente, traduite, dans son ensemble, par une oscillation simple, avec un minimum de jour et un maximum pendant la nuit (1). Mais les observations d'enregistreurs faites à Kew, au Parc Saint-Maur, à Lyon, à Perpignan, ont infirmé cette conclusion; toutes mettent en évidence, dans la moyenne annuelle, une oscillation double et un minimum de nuit.

Plus récemment, M. André, en discutant les moyennes fournies par six années d'observations à l'observatoire de Lyon, a cru pouvoir conclure à l'existence de deux formes distinctes de la double oscillation diurne : l'une se produirait par vent du nord, l'autre par vent du sud, et la prédominance de l'un ou l'autre régime pendant les diverses saisons déterminerait le caractère particulier de chacune d'elles au point de vue de cette oscillation (2).

Ce résultat est intéressant; mais, d'après la forme même sous laquelle il se présente, on peut incliner à croire, tout d'abord, qu'il doit être en rapport avec la situation particulière du lieu d'observation. Il ne paraît pas, en effet, que ces deux influences distinctes du vent du nord et du vent du sud puissent être un phénomène général; on peut, en tous cas, se demander pourquoi, au même lieu, deux régimes nettement opposés, d'est et d'ouest, par exemple, ne détermineraient pas, dans la variation diurne, des modifications analogues.

Quoi qu'il en soit, en ne considérant, dans la question, que le fait général d'une relation possible entre l'allure de la variation diurne et la direction du vent dominant, nous avons vainement cherché, dans les observations du Bureau central, la confirmation du fait signalé par M. André.

L'examen des courbes obtenues dans cette dernière station, leur comparaison avec celles qui nous étaient données simultanément par l'enregistreur installé au sommet de la tour Eiffel, nous ont conduit

---

(1) Mascart, *Sur l'électricité atmosphérique* (*C. R.*, t. XCI, p. 158).

(2) Ch. André, *Relations des phénomènes météorologiques déduites de leurs variations diurnes et annuelles*. Lyon, 1892.

à une interprétation différente des modifications que les influences saisonnières peuvent apporter dans la variation diurne. Il nous a paru possible d'en déduire la loi générale de ce phénomène, en dehors de toute influence secondaire et tel qu'il doit résulter de la cause générale des manifestations électriques dont notre atmosphère est le siège.

III

La série d'observations dont nous disposons au Bureau central embrasse huit années. Les observations de la tour Eiffel, commencées à la fin de 1892, ne portent que sur les mois de mai à octobre; elles s'étendent sur sept ans. Les unes et les autres ont été suivies de très près, variées autant que possible, et la concordance des résultats de chaque année donne à l'ensemble une valeur qui nous paraît incontestable. Les moyennes, ici, ne sont pas illusoires, car elles ne représentent que la superposition, pour ainsi dire, de variations à peu près identiques.

Les conclusions qui s'en dégagent sont les suivantes:

I. — *Il existe, dans nos régions tempérées, deux types très différents de la variation diurne* AU VOISINAGE DU SOL : *l'un correspond à la saison chaude, l'autre à la saison froide.*

Pendant l'été (*fig.* 1), un minimum très accusé se produit aux heures chaudes du jour. Il s'accentue d'autant plus que le point exploré est plus rapproché du sol, ou moins dégagé de l'influence d'arbres ou de bâtiments voisins. L'importance du minimum de nuit varie naturellement en sens inverse; mais, sauf dans des conditions particulièrement défavorables, l'oscillation diurne est double, suivant la loi généralement admise jusqu'ici.

Pendant l'hiver (*fig.* 2), le minimum de l'après-midi s'atténue ou disparaît, tandis que le minimum de nuit se creuse davantage. Considérée dans son ensemble, l'*oscillation paraît simple*, avec un maximum de jour et un minimum dont l'heure est très sensiblement la même que celle du second minimum d'été, soit quatre heures du matin. Ce caractère remarquable de la variation d'hiver est d'autant plus net que le lieu d'observation est plus dégagé.

Cette distinction des deux régimes d'hiver et d'été au voisinage du sol est confirmée par les résultats obtenus pour la variation

diurne annuelle, d'une part dans les régions équatoriales, de l'autre sous les latitudes élevées.

Ces observations sont, à la vérité, peu nombreuses ; toutefois on trouve, dans les *Annales de l'Observatoire de Batavia*, une série fort étendue (dix ans en deux groupes) dont les variations moyennes, pour chaque année, sont remarquablement concordantes. Nous reproduisons (*fig.* 3) la courbe résultant de l'ensemble des quatre années du second groupe (1890-1895) telle qu'elle résulte des nombres publiés par l'observatoire. Elle présente le type caractéristique de notre régime d'été.

Une autre indication précieuse nous est fournie par les observations de Batavia. Pour le groupe que nous avons utilisé, le collecteur était placé à 8 mètres du sol (l'écoulement d'eau, par lequel s'effectue la prise de potentiel, se produisant à 1^{m},50 environ du mur de la tourelle où se trouvait l'instrument), de telle sorte que le point exploré n'était pas dominé par les arbres de haute venue situés dans le voisinage. Il en était autrement dans l'installation primitive qui a donné

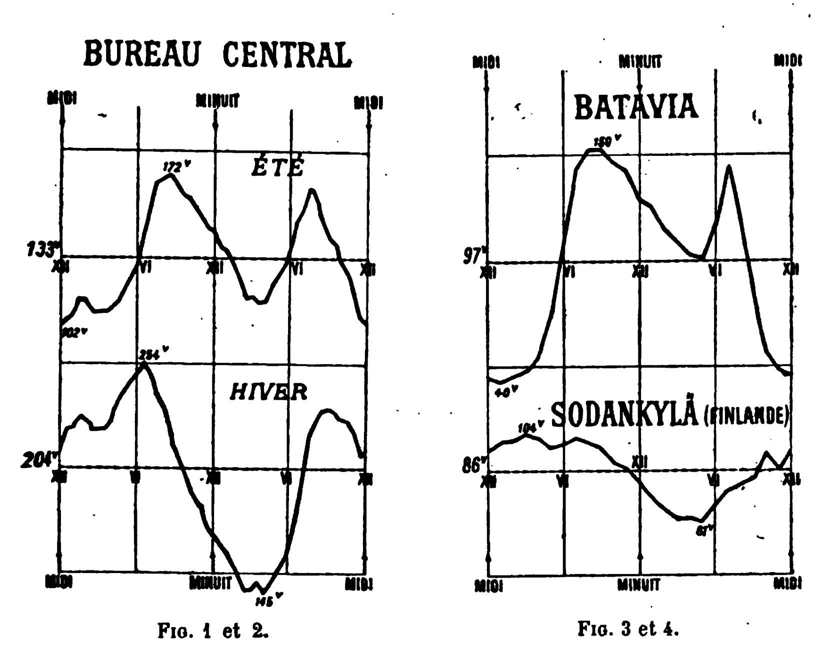


Fig. 1 et 2.

Fig. 3 et 4.

les observations du premier groupe. L'appareil ne se trouvait qu'à 2 mètres du sol et, sous cette influence et celle des grands arbres

voisins, le minimum de la fin de la nuit se prononce à peine, tandis que celui de l'après-midi s'accentue. On obtenait ainsi, en quelque sorte, une exagération du type d'été, que nous retrouverons dans les observations du Collège de France, et qui est uniquement due aux conditions particulières de l'installation du collecteur.

Pour les régions polaires, nous ne disposons pas de séries aussi importantes, à beaucoup près, que celle de Batavia. Les seules données utilisables nous sont fournies : 1° par une année complète d'observations horaires recueillies par la mission finlandaise dirigée par M. Lemström (1882-1883) à Sodankylä, dans le nord de la Finlande, sous la latitude de 68°; 2° par dix mois de semblables observations faites par S. A. Andrée, pendant le séjour de la mission suédoise au cap Thordsen (Spitzberg), à la latitude de 78°.

Les résultats bruts de ces deux séries, tels qu'ils ont été publiés, ne sont pas immédiatement comparables aux nôtres, non plus qu'à ceux de Batavia. On y a, en effet, introduit dans les moyennes aussi bien les journées troublées que les journées calmes ; or la variation diurne peut être entièrement masquée par les manifestations électriques accidentelles de grande intensité qui accompagnent la pluie, la neige, etc... Nous avons dû, pour chacune de ces séries, calculer les moyennes relatives aux seules journées non troublées. La courbe de l'oscillation diurne qui résulte ainsi des observations de Sodankylä est reproduite (*fig.* 4). Les observations du cap Thordsen donnent, avec un potentiel moyen beaucoup plus faible, une variation de même type, et c'est bien notre type d'hiver.

II. — *La variation diurne au sommet de la tour Eiffel*, PENDANT L'ÉTÉ, *entièrement différente de la variation observée simultanément au Bureau central*[1], *offre la plus grande analogie avec la variation d'hiver*.

C'est là le fait capital, incontestablement établi, de notre longue série de recherches. La variation diurne n'est pas la même, pendant l'été, au voisinage du sol et à 300 mètres d'altitude. Au minimum de l'après-midi, si net à la station basse, correspond un maximum dans les régions plus élevées de l'atmosphère où le minimum de nuit subsiste seul, en parfaite concordance, comme heure, avec le minimum au voisinage du sol (*fig.* 5).

---

(1) Le Bureau central météorologique est à quelques centaines de mètres seulement de la tour Eiffel.

Il était intéressant de rechercher si, en un point suffisamment dégagé, une telle modification pouvait déjà se faire sentir à une altitude relativement faible.

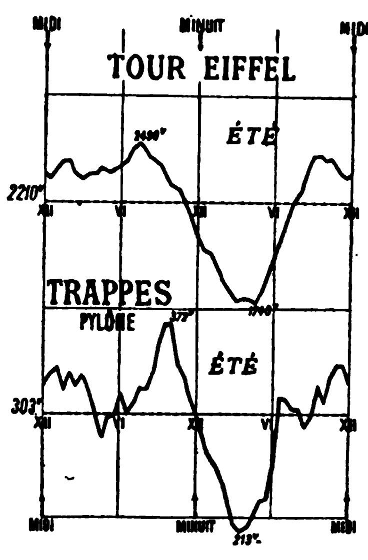


Fig. 5 et 6.

Nous avons pu réaliser ces conditions en installant un collecteur au sommet du pylône en bois, de 20 mètres de hauteur, qui sert de support aux anémomètres à l'observatoire de M. Teisserenc de Bort, à Trappes. Les observations faites pendant l'été de 1898 nous ont fourni les moyennes dont nous donnons plus loin la représentation graphique (*fig.* 6). Le minimum des heures chaudes du jour s'y dessine, mais faiblement, et, dans l'ensemble de la courbe, moins accentué, mais parfaitement net, nous retrouvons encore le type d'hiver.

Au contraire, dans les stations où le collecteur est dominé par des constructions ou des arbres voisins, la variation diurne se modifie dans le sens que nous avons indiqué précédemment à propos du premier groupe de la série de Batavia. Le minimum de l'après-midi se creuse au détriment du minimum de nuit. Celui-ci peut même disparaître, de telle sorte que l'oscillation semble simple, mais en sens inverse de l'oscillation d'hiver, c'est-à-dire avec un maximum de nuit et un minimum de jour.

Cette forme anormale de la variation diurne, constatée autrefois

par M. Mascart, résulte en effet des observations du Collège de France, mais pour la saison d'été seulement. On la retrouve encore, presque identique, à Greenwich, où le collecteur est placé dans des conditions aussi défavorables. Dans les deux stations, la variation d'hiver, complètement différente, se rapproche du type habituel de cette saison (*fig.* 7, 8, 9 et 10) [1].

C'est ce type d'hiver dans les stations basses, observé à la tour Eiffel pendant l'été et déjà manifeste, pendant cette même saison, aux faibles altitudes, dans les lieux bien découverts, qui nous paraît

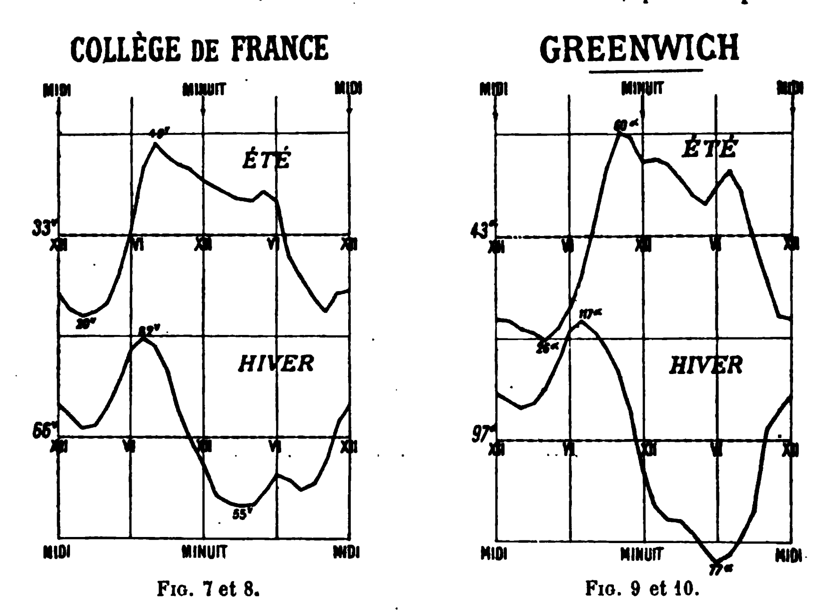


Fig. 7 et 8.

Fig. 9 et 10.

donner, du moins dans son ensemble, la forme constante qu'aurait la variation diurne en dehors de toute influence du sol; et nous conclurons de ce qui précède :

---

(1) Les moyennes de Greenwich sont déduites des nombres publiés dans les *Greenwich magnetical and meteorological Observations.* Les mesures étant faites avec un électromètre de Thomson employé à la manière ordinaire, les déviations ne sont pas proportionnelles aux potentiels; or ce sont ces déviations qui sont données dans les tableaux d'observations et que nous avons utilisées pour nos moyennes. Mais, dans les conditions habituelles de fonctionnement de l'appareil, le potentiel de l'aiguille, supérieur à 1.000 volts, étant au moins cinq ou six fois plus grand que le potentiel moyen de la paire de quadrants reliée au collecteur, on peut admettre la proportionnalité comme suffisamment approchée pour que la courbe des moyennes horaires ne soit pas modifiée sensiblement. Dans tous les cas, son allure n'est certainement pas changée.

1° *Qu'une influence du sol, maxima pendant l'été* (et dont le facteur principal est, probablement et suivant les idées de Peltier, la vapeur d'eau émanée de la surface terrestre et négative comme elle), *intervient comme cause perturbatrice dans l'allure de la variation diurne;*

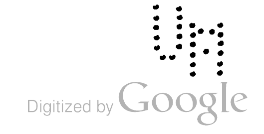
2° *Que la loi générale de cette variation se traduit par une oscillation simple, avec un maximum de jour et un minimum* (d'ailleurs remarquablement constant) *entre* 3^h,30 *et* 4^h,30 *du matin.*

Pour donner à ces résultats de nos observations une valeur plus grande, il eût sans doute été désirable que les mesures fussent poursuivies pendant l'hiver au sommet de la tour Eiffel et qu'on pût constater ainsi la permanence du régime en toutes saisons. Les observations faites pendant quelques périodes de froid des mois d'octobre et des premiers jours de novembre nous donnent à cet égard de fortes présomptions, mais non la certitude.

Bien que cette lacune ne nous paraisse point affaiblir nos conclusions, nous aurions voulu pouvoir la combler. Nous avons reculé jusqu'ici devant les difficultés et, disons-le aussi, les fatigues d'une telle entreprise. Déjà, pendant la belle saison, par les temps troublés de printemps et d'automne, la surveillance minutieuse qu'il faut exercer sur toutes les parties d'un appareil exposé en partie à l'air libre rend assez pénible la partie matérielle de ces observations. Pour les mener à bonne fin, nous avons été heureux de trouver dans notre assistant, M. Bigot, un collaborateur au dévouement duquel nous nous plaisons à rendre hommage.

Les courbes de variations diurnes que nous donnons ici représentent, pour les différentes heures du jour, de midi à midi, les excès positifs ou négatifs du potentiel par rapport à la valeur moyenne diurne. Celle-ci est figurée par la ligne d'abscisses, de part et d'autre de laquelle les excès sont comptés. Ces valeurs moyennes sont indiquées en volts, sauf pour les courbes de Greenwich, dont les nombres correspondent à une échelle arbitraire (Voir note, page 98).

Pour caractériser l'amplitude de l'oscillation, nous avons indiqué, dans chaque cas, les valeurs extrêmes du potentiel. En ordonnées, des longueurs égales correspondent à 50 volts pour les courbes du Bureau central, de Batavia et de Sodankylä (*fig.* 1, 2, 3 et 4); à 500 volts pour les courbes de la tour Eiffel (*fig.* 5); à 80 volts pour celles de Trappes (*fig.* 6); enfin à 17 volts ou 17 unités (1) dans les courbes du Collège de France et de Greenwich (*fig.* 7, 8, 9 et 10).



Sur les actions mécaniques de la décharge disruptive ;

Par Wladimir de Nikolaieve [1].

I. *Pour fixer l'effet produit par la décharge au sein de l'air*, une couche d'ouate hygroscopique pressée entre deux anneaux d'ébonite a été placée entre les deux électrodes d'une batterie de dix-sept grandes bouteilles de Leyde, chargée par une machine de Holtz. Après la décharge, l'ouate se montrait traversée par un canal dont le diamètre atteignait, pour les plus fortes décharges, 6 millimètres, et dont la longueur dépassait de beaucoup l'épaisseur primitive de la couche d'ouate; les fibres superficielles du canal étaient fortement comprimées. Cet effet ressemble à celui d'une explosion au milieu de l'ouate. Elle ne s'enflamme pas si les électrodes ne la touchent pas ; mais, si elle est pressée légèrement entre les électrodes, elle s'enflamme vivement, pourvu seulement que la décharge ne soit pas trop peu intense.

Pour étudier le processus de la décharge au sein des *électrolytes et des diélectriques liquides*, on a imbibé la couche d'ouate à saturation par l'eau potable ou l'huile de vaseline. Les liquides projetés par la décharge ne quittaient pas les canaux capillaires de l'ouate. La déformation de la couche imbibée permettrait d'obtenir des renseignements sur les forces pondéromotrices mises en jeu par la décharge. La forme de l'ouate imbibée ne différait après la décharge de celle de l'ouate sèche que par un plus grand diamètre du canal et par une plus grande longueur des parties projetées au dehors.

On voit ainsi que dans les *liquides* se produit le même effet d'explosion que dans l'*air*. Il faut tenir compte de cette remarque pour expliquer comment l'effet de l'explosion est lié à la destruction brusque de certains tubes de force électrique et au mouvement transversal des tubes de force restés intacts.

II. *Déformation et perforation des plaques et des feuilles métalliques*. — En interposant des feuilles d'*aluminium* entre des plaques de carton ou inversement, et plaçant les paquets de lames entre les électrodes d'une batterie perpendiculairement aux lignes de force, on observe après la décharge des cavités dans le métal en face de cratères formés dans le carton. L'ouverture et la profondeur des

---

(1) Séance du 16 juin 1899.

cavités dépendent à la fois de l'intensité de la décharge et de la distance du métal au carton. Les cavités se produisent encore dans le métal, quand il ne touche pas les bords des cratères du carton, et encore si le carton est supprimé. Si, par exemple, la feuille métallique touche une électrode, il se forme contre la pointe de l'autre électrode une cavité creusée dans la direction de la pointe vers la feuille.

Au fond des cavités, l'examen microscopique révèle l'existence de gouttelettes solidifiées, indice d'une fusion du métal en cette région pendant la décharge.

Tous ces effets s'observent particulièrement marqués avec des feuilles de *cuivre rouge* de $0^{mm},05$ ou $0^{mm},025$ d'épaisseur. Les premières feuilles étaient perforées, quand elles étaient placées près du carton, suivant un trou irrégulier, de 7 millimètres dans la plus grande dimension, et dont les bords déchirés étaient recourbés et rabattus contre la surface opposée; sans carton, les mêmes feuilles étaient perforées avec des électrodes pointues ou sphériques. On augmente considérablement l'ouverture de perforation en recouvrant le métal d'une mince couche de paraffine.

Une feuille d'étain sans carton a donné un trou ovale de 14 millimètres sur 12 millimètres. Quand la même feuille était placée entre les électrodes de la machine électrique, elle était percée de petits trous presque ronds.

Une feuille de cuivre ($0^{mm},025$) *pressée entre les électrodes* sphériques de la batterie était perforée, bien qu'il n'y eût pas de couche d'air continue entre elle et les électrodes. Comme le diamètre du trou de perforation est de plus de 1 millimètre, on peut dire que la résistance du métal perforé est très petite. Enfin des électrodes creuses formées par des feuilles d'étain sont brûlées ou perforées là où éclate la décharge; la surface des électrodes devient moins convexe, comme si une force répulsive avait agi entre les électrodes, peut-être la brusque dilatation de l'air échauffé par la décharge.

La poudre de lycopode, semée sur une lame métallique horizontale s'enflamme très vivement au moment où l'on fait éclater la décharge entre cette lame et une pointe placée au-dessus.

Les effets de la décharge se résument en une forte élévation de température et en une déformation peut-être due à l'explosion dans l'air.



Sur la production de la rotation électro-magnétique des électrolytes ;

Par Wladimir de Nikolaieve[1].

Une dissolution de sulfate de cuivre est contenue dans un vase cylindrique d'assez grand diamètre (10 ou 15 centimètres). Les électrodes sont de petits disques de cuivre (1,5 à 2 centimètres de diamètre), placés perpendiculairement à l'axe du cylindre, l'une en bas, l'autre en haut, de sorte que les courants sont centrifuges sur l'une et centripètes sur l'autre. Ou bien les électrodes sont des anneaux métalliques disposés comme les disques du premier dispositif. Dans les deux cas, en plaçant le vase cylindrique entre deux pôles magnétiques de même nom, on observe la rotation du liquide dans un sens ou dans l'autre.

Sur le mélange des gaz ;

Par M. Daniel Berthelot[2].

La plupart des traités énoncent la loi dite du mélange des gaz sous la forme que lui a donnée Dalton :

I. *La pression d'un mélange de gaz est égale à la somme des pressions que prendrait chaque gaz s'il occupait seul le volume total.*

En d'autres termes, un gaz introduit dans un espace déjà occupé par un autre gaz y prendrait la même tension que dans le vide.

Deux remarques fort simples suffisent à montrer l'inexactitude de l'énoncé de Dalton, tout au moins sous sa forme générale.

En premier lieu, toute loi générale sur les gaz doit s'appliquer également aux liquides : les propriétés des gaz sous de fortes pressions (densité, compressibilité, etc.) étant tout à fait comparables, comme l'a fait voir M. Amagat, à celle des liquides. Or il est clair que, pour introduire un gaz ou un liquide dans un récipient déjà occupé par un gaz comprimé ou un liquide, on aura à surmonter une tout autre résistance que si le récipient était vide.

Une seconde objection plus grave montre que la loi de Dalton est

(1) Séance du 16 juin 1899.
(2) Séance du 7 juillet 1899.

incompatible avec les propriétés des gaz réels. On sait que, sous des pressions voisines de la normale, tous les gaz, sauf l'hydrogène, sont plus compressibles que ne l'indique la loi de Mariotte. Il en résulte que, si l'on considérait un volume gazeux comme formé par le mélange de deux moitiés identiques à la même pression initiale, on devrait, d'après la loi de Dalton, observer une augmentation de pression, ce qui est absurde. Cette augmentation atteindrait $2^{mm},6$ de mercure, avec l'anhydride carbonique, $9^{mm},1$ avec l'anhydride sulfureux. Si l'on considérait ce même volume comme formé par le mélange de trois parties identiques, on aurait une augmentation de pression encore plus grande.

Quelques auteurs ont cherché à lever une contradiction analogue, qu'on trouve au début de la théorie de la dissociation de Gibbs, en admettant qu'une loi relative au mélange des gaz peut très bien ne pas s'appliquer à deux gaz identiques.

Dans le cas de la loi de Dalton, la question peut être tranchée expérimentalement. Il existe en effet deux gaz (protoxyde d'azote et anhydride carbonique), qui, bien que doués de propriétés chimiques différentes, possèdent un même poids moléculaire, une température critique et une pression critique très voisines. Comme ces trois constantes indépendantes définissent entièrement la fonction $f(p, v, t)$ relative à un corps donné, il en résulte que les propriétés physiques de ces deux gaz doivent être presque identiques. Or l'expérience montre que ces deux gaz mis en communication donnent lieu à une augmentation de pression négligeable, comme le feraient deux gaz identiques, tandis que l'énoncé de Dalton exigerait une augmentation de pression de $2^{mm},6$ de mercure.

La loi de Dalton ne peut être vraie que si la loi de Mariotte l'est elle-même. *On doit donc la considérer simplement comme une loi limite applicable aux gaz très raréfiés.*

Aussi ne saurait-on être étonné que les physiciens qui ont étudié avec précision les propriétés des gaz réels sous de moyennes et fortes pressions aient reconnu l'inexactitude de l'énoncé de Dalton.

« Dans l'air atmosphérique, dit M. Amagat [1], l'oxygène et l'azote semblent se comprimer séparément, comme s'ils étaient seuls, non pas à la pression qu'ils ont dans le mélange, mais à celle du mélange même. »

---

(1) *Ann. Chim. Phys.*, 5e série, t. XIX, p. 384; 1880.



Dans le même ordre d'idées, M. Sarrau [1] substitue l'énoncé suivant à celui de Dalton :

II. *Le volume spécifique* (volume de l'unité de poids sous la pression considérée) *d'un mélange de gaz est égal à la moyenne composée des volumes spécifiques des gaz mélangés.*

Les mesures exécutées par M. Leduc sur les densités de l'air et de ses constituants l'ont amené à des énoncés analogues.

L'énoncé II ne donne lieu à aucune des deux objections signalées plus haut contre la loi de Dalton. Il n'est pas en contradiction avec les propriétés des gaz réels et s'applique d'une manière approchée aux liquides.

En fait, M. Amagat [2] a montré qu'il se vérifie avec une précision de l'ordre du millième pour l'air considéré comme un mélange d'azote et d'oxygène, aussi bien sous des pressions de 2.000 et 3.000 atmosphères que sous la pression normale.

Mais en est-il ainsi dans tous les cas? s'agit-il ici d'une loi rigoureuse ou seulement d'une loi approchée? Pour les liquides, on sait depuis longtemps que l'énoncé II n'est qu'approché. Il en est de même pour les gaz. L'expérience [3] montre que le mélange de deux gaz est accompagné d'une augmentation de pression Δp d'autant plus grande que les températures critiques des deux gaz sont plus différentes. Cette variation de pression atteint 4 millimètres de mercure pour le mélange d'hydrogène et d'anhydride sulfureux sous la pression atmosphérique à 0°.

Ce résultat prouve que le phénomène ne peut être représenté par une loi simple, telle que l'énoncé I ou l'énoncé II. Si l'on prend deux gaz sous une pression quelconque et si on les mélange, il n'est guère possible de prévoir directement les effets du mélange, ces gaz n'étant pas dans des états comparables.

Pour surmonter cette difficulté, j'ai émis l'idée [4] qu'il fallait imaginer une suite d'opérations telle que la diffusion se fît à l'état gazeux parfait. On suppose les deux gaz placés dans deux corps de pompe fermés par des pistons mobiles; on soulève ces pistons jus-

(1) *Introduction à la théorie des explosifs*, p. 25; 1893.

(2) *Comptes Rendus*, 11 juillet 1898.

(3) Braun, *Wiedemann's Annalen*, t. XXXIV, p. 948; — Leduc, *Comptes Rendus*, 17 janvier 1898; — P. Sacerdote, *Comptes Rendus*, 24 janvier 1898; *J. de Phys.*, 3e série, t. VIII, p. 319; 1899. — D. Berthelot et P. Sacerdote, *Comptes Rendus*, 27 mars 1899.

(4) *Comptes Rendus*, 13 juin 1898.

qu'à ce que la pression soit devenue infiniment faible. A ce moment, on les met en communication. Les gaz étant arrivés à l'état gazeux parfait, la pression du mélange se calcule indifféremment par l'énoncé I ou par l'énoncé II. La diffusion étant effectuée, on ramène les pistons à leur position primitive.

Le calcul de ce cycle exige que l'on connaisse non seulement la compressibilité des gaz séparés, donnés mesurée par Regnault pour quelques gaz et plus récemment pour un grand nombre d'autres par MM. Leduc et Sacerdote [1] (ce sont les résultats de ces auteurs qui seront admis dans le présent mémoire), mais encore la compressibilité du mélange entre une pression très faible et la pression de l'expérience. Cette dernière donnée faisant entièrement défaut au moment de la publication de ma première note, j'ai entrepris, pour la déterminer dans quelques cas typiques, une série d'expériences en collaboration avec M. Sacerdote [2]. Nous avons étudié trois mélanges différents.

1° *Mélange de* $CO^2 + SO^2$. — La mesure directe montre qu'à 16° le coefficient d'écart A_2^1 à la loi de Mariotte entre 1 et 2 atmosphères (les pressions étant exprimées en centimètres de mercure) est égal à 143×10^{-6}. Les expériences de diffusion étant faites à 0°, il faut ramener la valeur de A_2^1 à 0°, au moyen d'un coefficient de température convenable. On déduit des formules de M. Leduc que le coefficient moyen entre 16° et 0° est égal à 0,0163 pour SO^2, à 0,0154 pour CO^2. On peut donc admettre très sensiblement, pour $SO^2 + CO^2$, $\frac{1}{A_{16}}\left(\frac{\delta A}{\delta t}\right)_0^{16} = 0{,}0158$; ce qui donne à 0°, $A_2^1 = 179 \times 10^{-6}$. Pour faire le calcul, il nous faut connaître non pas le coefficient A_2^1 entre 1 et 2 atmosphères, mais le coefficient A_0^1 entre 1 et 0 atmosphère. Ce dernier est plus faible de quelques unités. On trouvera plus loin un calcul théorique fondé sur la formule de Van der Waals, qui permet de retrouver avec une remarquable exactitude la valeur de A_2^1. On peut donc l'employer avec confiance pour calculer la correction très faible nécessaire pour passer de A_2^1 à A_0^1 ; on trouve que la différence est de 5 unités. Nous aurons donc en définitive à 0°, pour le mélange $CO^2 + SO^2$, $A_0^1 = 174 \times 10^{-6}$. D'autre part, les coefficients analogues A_0^1 à 0° ont les valeurs 310×10^{-6} pour SO^2

---

(1) *Comptes Rendus*, 2 août 1897; — *J. de Phys.*, 3e série, t. VII, p. 5 et 189; 1898.
(2) *Comptes Rendus*, 27 mai 1899.

et 88×10^{-6} pour CO^2. En employant ces coefficients pour le calcul du cycle décrit précédemment, on trouve que l'augmentation de pression Δp, lors du mélange des gaz $CO^2 + SO^2$ à 0° et 760 millimètres, est égale à $1^{mm},5$. L'expérience directe donne le nombre voisin $1^{mm},4$.

2° *Mélange atmosphérique.* — Nous avons trouvé pour l'air à 16° : $A_2^1 = 5 \times 10^{-6}$; on en déduit à 0°, $A_2^1 = 7 \times 10^{-6}$. La valeur de A_0^1 pour les gaz permanents ne diffère pas d'une quantité appréciable de celle de A_2^1. D'autre part, les valeurs de A_0^1 à 0° sont égales à 5×10^{-6} pour l'azote, à 10×10^{-6} pour l'oxygène. On en déduit $\Delta p = 0^{mm},01$, quantité inférieure aux erreurs d'expérience, ce qui est d'accord avec les mesures très concordantes sur la densité de l'air et de ses éléments, faites par lord Rayleigh et M. Leduc.

3° *Mélange* H + O. — Nous avons trouvé pour A_2^1 à 16° la valeur -2×10^{-6}. Le coefficient de température pour l'hydrogène est de signe contraire à celui de l'oxygène, en sorte que, pour le mélange H + O, la variation de A_2^1 entre 16° et 0° est certainement inférieure aux erreurs d'expérience. D'autre part, les valeurs de A_2^1 à 0° sont égales à -8×10^{-6} pour H, à $+10 \times 10^{-6}$ pour O. On en déduit $\Delta p = 0^{mm},17$. L'expérience directe que j'ai exécutée avec M. Sacerdote donne la valeur voisine $0^{mm},20$.

Il résulte de là que l'emploi du cycle proposé est entièrement justifié par l'expérience et qu'il est possible de calculer l'augmentation de pression produite lors du mélange de deux gaz, si l'on connaît les compressibilités des gaz séparés et du mélange.

Peut-on aller plus loin, et, connaissant seulement les propriétés des gaz séparés, en déduire la compressibilité du mélange et, par suite, l'augmentation de pression Δp lors du mélange ? Il semble que oui, si l'on admet que l'on a affaire à un phénomène purement physique.

Mais il est nécessaire de faire quelques suppositions sur le mécanisme même du phénomène. J'admettrai, avec la plupart des physiciens, que les écarts que présente un gaz par rapport à la formule des gaz parfaits sont dus à deux causes : l'attraction réciproque des molécules et leur volume ; et que la formule des gaz réels est du type proposé par Hirn :

$$(P + p)(v - b) = RT,$$

c'est-à-dire qu'à la pression externe p il faut ajouter la pression

interne P due à l'attraction des molécules, et que du volume apparent du gaz v il faut retrancher le volume b des molécules.

La plus simple des formules de ce type est celle de Van der Waals, qui suppose $P = \frac{a}{v^2}$, a étant une constante qui représente l'attraction réciproque de 2 molécules, $b = C^{te}$. Son principal avantage, au point de vue théorique, c'est qu'elle définit le réseau de chaque corps par trois constantes indépendantes, ce qui est la condition nécessaire et suffisante pour qu'il obéisse à la loi des états correspondants (quand on prend pour variables réduites les rapports de p, v, t à leurs valeurs critiques), loi qui est certainement plus exacte qu'aucune des diverses formules proposées jusqu'ici pour la fonction $f(p, v, t)$.

Si nous employons cette formule pour le calcul du cycle décrit antérieurement, nous obtiendrons les variations de pression des gaz séparés pendant la détente par les formules :

$$(1) \qquad \left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT,$$

$$(2) \qquad \left(p + \frac{a'}{v^2}\right)(v - b') = RT.$$

On suppose ici que l'on comprime une masse de chaque gaz égale à 1 molécule.

La constante R a la valeur commune $\frac{1}{273}$ pour tous les gaz, si l'on prend pour unité de volume le volume occupé par 1 molécule d'un gaz parfait à 0° et sous la pression atmosphérique normale.

Les variations de pression du mélange pendant la compression se calculent par la formule analogue :

$$(3) \qquad \left(p + \frac{A}{v^2}\right)(v - B) = RT,$$

R ayant toujours la valeur $\frac{1}{273}$, si l'on prend une masse de mélange égale à 1 molécule.

Soit donc un mélange de x molécules du premier gaz avec $1 - x$ du second ; comment calculerons-nous A et B ? Le covolume B sera égal à la moyenne composée des covolumes b et b' des constituants :

$$(4) \qquad B = bx + b'(1 - x).$$

Quant à l'attraction spécifique moléculaire A, elle comprendra trois termes : le premier (ax^2), relatif à l'attraction réciproque de 2 molécules du premier gaz ; le second $a'(1-x)^2$, relatif à l'attraction de 2 molécules du second gaz ; le dernier $2x(1-x)a''$, dans lequel a'' représente l'attraction d'une molécule du premier gaz sur une molécule du second. Il est possible que a'' ne s'exprime pas exactement en fonction de a et de a'. Dans ce cas, la connaissance des propriétés des gaz séparés ne suffirait pas pour calculer celles du mélange. Cependant le fait cité plus haut que les molécules des gaz CO^2 et Az^2O, qui ont des propriétés physiques peu différentes, se comportent dans un mélange comme les molécules d'un même gaz, nous engage à rejeter cette idée.

Si l'on admet que l'on puisse appliquer ici la règle des masses, on aura $a'' = \sqrt{aa'}$. Cette hypothèse est la plus simple de celles qu'on puisse faire ; et les calculs que l'on trouvera plus loin montrent qu'elle est vérifiée d'une manière satisfaisante par l'expérience. On aura donc :

$$(5) \qquad A = ax^2 + 2\sqrt{aa'}\, x(1-x) + a'(1-x)^2.$$

Ces formules résolvent la question. Toutefois la vérification numérique ne peut évidemment être essayée que dans les limites assez restreintes où l'équation de Van der Waals est vérifiée pour un gaz isolé. Il est impossible, en effet, de représenter l'ensemble d'un isotherme en regardant a et b comme constants. C'est ainsi qu'en employant les valeurs de a et b déduites des coordonnées du point critique, pour calculer les divers points de l'isotherme critique ou des isothermes voisins, j'ai pu constater, sur un grand nombre de corps, que l'isotherme de Van der Waals suit assez fidèlement l'isotherme expérimental, pour des pressions supérieures à la pression critique, tandis que, pour des pressions décroissant de la pression critique à la pression atmosphérique, il s'en écarte de plus en plus, en sorte qu'au voisinage de 1 atmosphère le volume calculé est inférieur de 30 0/0 au volume réel.

Aussi n'ai-je considéré, dans mes communications antérieures, que des intervalles de pression assez faibles pour qu'on puisse regarder a et b comme constants, et j'ai indiqué comment on pouvait fixer les valeurs approchées de a et b au voisinage de la pression atmosphérique (1).

(1) *Comptes Rendus*, mai et juin 1898 ; — *J. de Phys.*, 3e série, t. VIII, p. 263 ; 1899.

Je reproduis ici le tableau des constantes a et b de divers gaz dans ces conditions et des volumes v_m occupés par une molécule de chaque gaz à 0° et 1 atmosphère, le volume occupé par 1 molécule de gaz parfait étant égal à 1 ; et les pressions sont exprimées en atmosphères.

	H	Az	O	CO^2	Az^2O	SO^2
a	0,00050	0,00105	0,00159	0,00913	0,01024	0,02840
b	0,00114	0,00067	0,00083	0,00243	0,00268	0,00535
v_m	1,00064	0,99962	0,99924	0,99326	0,99239	0,97642

Ces données permettent de calculer, au moyen des formules (4) et (5), l'équation de compressibilité (3) d'un mélange de gaz, et, par suite, le coefficient d'écart A_2^1 à la loi de Mariotte à 0° ; on le ramène à 16° au moyen des coefficients de température donnés plus haut. Voici la comparaison de ces coefficients avec ceux que nous avons observés, M. Sacerdote et moi :

	$CO^2 + SO^2$	$4Az + O$	$H + O$
A_2^1 observé	143×10^{-6}	5×10^{-6}	-2×10^{-6}
A_2^1 calculé	149×10^{-6}	5×10^{-6}	0×10^{-6}

L'accord est bon. Si l'on calculait A_2^1 par la règle des mélanges, on trouverait pour $CO^2 + SO^2$ la valeur 168×10^{-6}, qui est notablement supérieure à la valeur observée.

Une autre vérification intéressante est la suivante : Parmi les mélanges en diverses proportions de l'hydrogène avec un gaz plus compressible que ne l'indique la loi de Mariotte, il doit en exister un qui suive cette loi sous de faibles pressions. Pour H^2 et CO^2, le calcul indique que ce mélange aurait la composition :

$$0^{mol},79H^2 + 0^{mol},21CO^2.$$

Pour un tel mélange, en effet, les valeurs de A et de B sont sensiblement égales, car :

$$A = \overline{0,21}^2 \times 0,00913 + 2 \times 0,21 \times 0,79 \times 0,002134 + \overline{0,79}^2 \times 0,0005 = 0,00142$$
$$B = 0,79 \times 0,00114 + 0,21 \times 0,00243 = 0,00142.$$

Or M. Van der Waals, en discutant les expériences de M. Verschaffelt sur les isothermes à 18° des mélanges d'hydrogène et d'anhydride carbonique (1), en a conclu que le mélange qui suit la loi de

(1) *Comptes Rendus de l'Académie d'Amsterdam*, mars 1899.

Mariotte sous de faibles pressions a sensiblement la composition $0,8H^2 + 0,2CO^2$, ce qui s'accorde bien avec mon calcul. Je remarquerai que, si l'on cherchait à obtenir les écarts A_0^1 par la règle des mélanges, sachant que la valeur de A_0^1 est $+ 0,00674$ pour CO^2 et $- 0,00064$ pour H^2, on trouverait que le mélange pour lequel cet écart s'annulerait aurait la composition $0,91H^2 + 0,09CO^2$, notablement différente de celle que donne l'expérience. Ces exemples montrent que les phénomènes offerts par les mélanges ne peuvent pas se calculer par une règle simple, mais exigent que l'on tienne compte de deux facteurs physiques différents, dont l'un, le covolume, s'obtient par une règle de moyenne arithmétique, et dont l'autre, l'attraction spécifique moléculaire, s'obtient par une règle de moyenne géométrique composée.

Une troisième vérification est celle qui porte sur les augmentations de pression Δp produites par le mélange de deux gaz. Toutes les expériences sont faites à 0°. M. Braun (*loc. cit.*) a trouvé sous la pression de 71 centimètres pour $SO^2 + H^2$, $\Delta p = 4^{mm},06$ et $3^{mm},88$, dans deux expériences successives ; pour $CO^2 + H^2$, $0^{mm},86$ et $1^{mm},05$; pour CO^2 + air, $0^{mm},35$; pour $Az^2 + H^2$, $0^{mm},21$; et pour H^2 + air, $0^{mm},0$. Les écarts observés pour ces trois derniers mélanges, dont, chacun n'a été l'objet que d'une seule mesure, sont à peine supérieurs aux erreurs d'observation de l'auteur, qui atteignent $0^{mm},1$ à $0^{mm},2$, comme on le voit par les nombres relatifs aux mélanges précédents. M. Sacerdote a trouvé (sous la pression 765 millimètres) pour $SO^2 + CO^2$, $\Delta p = 1^{mm},36$; et pour $CO^2 + Az^2O$ (sous 760 millimètres), $\Delta p = 0^{mm},08$, valeur assez faible pour pouvoir être attribuée aux erreurs d'expérience. Enfin j'ai observé, avec M. Sacerdote, pour $H^2 + O^2$, $\Delta p = 0^{mm},20$ (sous la pression 752 millimètres).

Voici le détail du calcul dans le cas général : Prenons deux ballons égaux remplis, à 0°, l'un d'anhydride sulfureux, l'autre d'hydrogène sous une pression de $710^{mm},6$, et mettons-les en communication ; 1 volume de SO^2 sous la pression de $710^{mm},6$ ou $0^{atm},935$ ne correspond pas à 1 molécule, mais, comme on le calcule en faisant $p = 0,935$ dans l'équation de compressibilité, à $0^{mol},9560$; 1 volume de H^2 dans ces mêmes conditions correspond à $0^{mol},9346$. Par suite, la proportion des gaz du mélange sera :

$$x = 0^{mol},4943\ H^2 \qquad \text{et} \qquad 1 - x = 0^{mol},5057\ SO^2.$$

Les formules (4) et (5) donnent alors :

$$A = 0{,}00926 \qquad \text{et} \qquad B = 0{,}00327,$$

en sorte que l'équation de compressibilité du mélange à 0° est :

$$\left(p + \frac{0{,}00926}{v^2}\right)(v - 0{,}00327) = 1.$$

Puisque 1 volume SO^2 correspond (sous la pression 71 centimètres) à $0^{mol},9560$, 1 molécule SO^2 sous cette même pression occupe $1^{vol},0460$, et $0^{mol},5057$ occupe $0^{vol},5290$; de même, $0^{mol},4943 H^2$ occupe $0^{vol},5290$; le mélange occupe donc $2 \times 0^{vol},5290 = 1^{vol},0580$. Faisant dans l'équation de compressibilité du mélange $v = 1{,}0580$, il vient $p = 0^{atm},9399$. Comme on avait initialement $p = 0^{atm},9350$, il s'ensuit que $\Delta p = 0^{atm},0049 = 3^{mm},7$.

Si l'on suppose les mélanges faits non plus à volumes égaux, mais à molécules égales, et sous la pression 76 centimètres, le calcul se simplifie beaucoup. D'après le tableau donné plus haut, 1 molécule SO^2 occupe $0^{vol},97642$, 1 molécule H^2 occupe $1^{vol},00064$; 1 molécule du mélange occupe $\frac{0{,}97642 + 1{,}00064}{2} = 0^{vol},98853$. D'ailleurs, $x = 0{,}5$, $1 - x = 0{,}5$, et les équations (4) et (5) donnent $A = 0{,}00911$, $B = 0{,}00324$, en sorte que l'on a pour le mélange :

$$\left(p + \frac{0{,}00911}{v^2}\right)(v - 0{,}00124) = 1.$$

Faisons dans cette équation $v = 0{,}98853$, il vient $p = 1^{atm},00560$. Comme on avait, au début, $p = 1$ atmosphère, il s'ensuit que $\Delta p = 0^{atm},0056 = 4^{mm},2$.

Le tableau suivant permet de comparer les valeurs observées aux valeurs ainsi calculées :

	$SO^2 + H^2$ (71cm)	$SO^2 + CO^2$ (76cm,5)	$CO^2 + H^2$ (71cm)	$CO^2 + Az^2O$ (76cm)
Δp observé :	$3^{mm},9$	$1^{mm},4$	$1^{mm},0$	$0^{mm},1$
Δp calculé :	$3^{mm},7$	$1^{mm},1$	$0^{mm},9$	$0^{mm},0$

	CO^2 + Air (71cm)	$H^2 + O^2$ (75cm)	4Az + O
Δp observé :	$0^{mm},35$	$0^{mm},2$	$0^{mm},0$
Δp calculé :	$0^{mm},6$	$0^{mm},05$	$0^{mm},0$

Les nombres calculés ne diffèrent pas, en général, de $0^{mm},2$, des

nombres observés. Cet accord peut être regardé comme satisfaisant; en effet, l'incertitude sur les Δp observés n'est guère moindre de $0^{mm},1$. Quant à l'incertitude sur les Δp calculés, en raison des erreurs d'expériences qui peuvent exister sur les coefficients de compressibilité et les températures critiques employées pour fixer les valeurs de a et b, elle peut s'élever à $0^{mm},2$.

La triple série de vérifications que l'on vient de voir justifie le mode de calcul qui a été adopté et montre qu'il permet d'obtenir, d'une manière très approchée, la densité d'un mélange gazeux d'après les densités de ses constituants.

Mesures sur le microphone;

Par M. J. Cauro [1].

Ayant entrepris, il y a quelques années, une série de recherches concernant le mécanisme du phénomène microphonique, j'ai constaté que les éléments précis de cette étude manquaient et que l'ordre de grandeur de la plupart des quantités en jeu était même inconnu. J'ai été naturellement conduit à faire un travail d'ensemble, portant sur la mesure des divers éléments qui interviennent dans la transmission du son.

Lorsque l'onde sonore frappe la planchette d'un microphone qui se trouve dans un circuit comprenant une pile et le primaire d'une bobine, il se produit une variation de la résistance des contacts microphoniques, qui se traduit par une variation du courant primaire i. Celui-ci devient :

$$i' = i(1 + \alpha + \beta),$$

α est une variation continue, β une variation alternative de même période T que le son :

$$\frac{1}{T}\int_0^T \beta dt = 0.$$

A cette variation du courant primaire correspond dans le secon-

---

(1) Séance du 7 juillet 1899.

daire de la bobine une force électromotrice E, qui produit un courant alternatif dans le circuit secondaire; celui-ci comprend, outre la bobine, les téléphones au départ, la ligne, les téléphones et une bobine à l'arrivée. Dans mes expériences, la ligne était remplacée par une ligne artificielle du système de Branville et Anizan.

J'ai mesuré successivement :

Dans le circuit primaire:

La variation moyenne $pi = \alpha i$ de l'intensité du courant;

La partie efficace qi de la variation alternative de l'intensité définie par :

$$q^2 i^2 = \frac{i^2}{T} \int_0^T \beta^2 dt$$

Dans le circuit secondaire :

La force électromotrice E induite dans la bobine en circuit ouvert;

L'intensité I du courant qui actionne les téléphones à l'arrivée;

La différence de potentiel efficace O aux bornes du téléphone récepteur et l'énergie électrique W absorbée dans le téléphone.

J'ai cherché comment ces quantités variaient avec la période et avec l'amplitude du son.

Le microphone était du système d'Arsonval à réglage magnétique; les charbons verticaux portent une chemise en fer sur laquelle agit un aimant qu'on approche ou qu'on éloigne au moyen d'une vis. On a ainsi un appareil dont on peut faire varier la sensibilité. Le récepteur était soit un téléphone d'Arsonval à aimant annulaire, soit un téléphone Aubry dont l'électro-aimant est porté par une petite membrane mobile, soit un téléphone Ochorowicz.

Je me plaçais chaque fois dans le cas du son le plus fort, susceptible d'être transmis sans crachements, ce qui est facilité par ce fait que le phénomène des crachements fait varier brusquement toutes les quantités qui interviennent; puis dans le cas d'un son que l'on pouvait entendre dans le téléphone par l'intermédiaire de l'air; enfin dans le cas du son le plus faible perceptible.

J'ai retrouvé toujours les mêmes résultats; seulement j'avais soin d'attendre que l'état permanent fût établi, afin d'éliminer les phénomènes variables dus aux extra-courants et aux effets thermo-électriques. A cause de cela, il y a peut-être une différence entre la transmission des sons musicaux et la transmission de la parole articulée, dont le mécanisme, d'après les théories admises, se compose

de l'émission d'une série de sons musicaux complexes, correspondant aux voyelles, séparés par la fermeture plus ou moins complète de l'orifice générateur, correspondant aux consonnes. On s'explique ainsi ce fait, que la perception de la parole articulée est plus facile que celle d'un son musical.

Je me suis borné à l'étude des sons musicaux. Voici les conclusions auxquelles je suis arrivé :

La fraction efficace q de la variation alternative de l'intensité du courant primaire est indépendante de celui-ci et est inférieure à $\frac{1}{3}$ pour les sons les plus forts. Elle est à peu près proportionnelle à l'amplitude A de la vibration sonore qui actionne l'appareil et ne semble pas dépendre de la hauteur du son.

Exemple :

Diapason La_3 N = 435VD, $i = 0{,}078$

$\frac{A_1}{A_2} = \frac{23}{12}$, $q_1 = 0{,}28$, $q_2 = 0{,}14$

Diapason ut_4 N′ = 512VD, $i = 0{,}079$

même amplitude (A_1) que dans le cas précédent :

$$q_1' = 0{,}27.$$

La variation continue p est beaucoup plus faible.

La force électromotrice efficace en circuit ouvert dans le secondaire E est d'environ 1v,5 pour les sons les plus forts qui puissent être reçus dans le cas du La_3. La force électromotrice maxima correspondante est de 2v,2.

Elle varie à peu près comme l'amplitude A de la vibration agissante.

Elle dépend de la période et varie en raison inverse de celle-ci.

Exemple :

Diapason La_3 N = 435VD

$\frac{A_1}{A_2} = \frac{17}{11}$, $E_1 = 1^v{,}4$, $E_2 = 0\ 9$

Diapason Fa_4 N′ = 684VD

même amplitude sonore que (1) :

$$E_1' = 2^v{,}2.$$

Dans le cas du son le plus fort, la différence de potentiel aux bornes du téléphone est représentée par des centièmes de volt, et l'énergie absorbée par des millionièmes de watt.

L'intensité efficace I est de l'ordre des cent-millièmes d'ampère. Elle descend jusqu'au millionième d'ampère pour des sons encore très nettement perceptibles.

Elle est sensiblement proportionnelle à l'amplitude de l'onde sonore et ne semble pas varier avec la période.

Exemple :

Diapason La_3 — $N = 435VD$

$\frac{A_1}{A_2} = \frac{18}{9}$, — $I_1 = 8 \times 10^{-5}$

$I_2 = 4 \times 10^{-5}$

Diapason ut_4 — $N' = 512VD$

$A'_1 = A_1$ — $I'_1 = 8 \times 10^{-5}$.

L'action sur la membrane téléphonique étant proportionnelle à l'intensité du courant, le déplacement de cette membrane le sera aussi. Donc ce déplacement sera proportionnel à l'amplitude de l'onde agissante et ne dépendra pas de la période.

On peut conclure de ces résultats expérimentaux que les sons ne doivent pas être modifiés d'une façon différente par le téléphone, et, par suite, que le timbre ne doit pas être trop altéré dans le cas d'un son musical complexe.

Mesure de l'intensité des ondes sonores ;

Par M. J. Cauro(1).

Pour obtenir des sons bien réguliers, j'ai eu recours à deux procédés :

En premier lieu, j'ai employé les tuyaux sonores que j'actionnais au moyen de l'air comprimé enfermé dans un tube en acier qui était muni d'un double régulateur du système Fournier. Ce dispositif très simple remplace avantageusement la soufflerie et son régulateur. Il permet d'obtenir un son qui est remarquablement constant, ainsi que je l'ai vérifié par les appareils que je décrirai plus loin, et

(1) Séance du 7 juillet 1899.

dont l'intensité peut se régler à volonté par le mouvement d'une vis. J'ai dû y renoncer cependant, à cause du mouvement de translation de l'air, qui accompagne toujours, dans les tuyaux actionnés par le vent, le mouvement vibratoire. J'aurais pu éviter cet inconvénient en faisant parler le tuyau au moyen d'un diapason accordé ; j'ai préféré recourir à un autre procédé.

J'ai pris des diapasons de M. Mercadier à entretien électrique, montés sur une caisse de résonnance, et j'ai constitué la source sonore avec le tuyau qui forme la caisse, en arrêtant par un écran l'onde émise par le diapason. En collant sur celle-ci un petit miroir et en observant dans une lunette l'image réfléchie d'un point lumineux, j'avais facilement un repère qui permettait de retrouver à un aussi long intervalle de temps que je voulais le son que j'avais eu une fois — ce qui facilitait singulièrement les mesures. — Par une variation de la pile d'entretien, ou simplement par un mouvement de la vis de contact, j'avais toutes les amplitudes.

Pour comparer entre elles les amplitudes des mouvements des ondes sonores, j'ai cherché, sur le conseil de M. Lippmann, à les observer directement au moyen du microscope, en employant la méthode stroboscopique. Une membrane en baudruche caoutchoutée, très légèrement tendue, est placée sur un petit tambour; au centre est collé un petit disque de verre très léger, et perpendiculairement à celui-ci un fil de verre rigide portant à son extrémité une feuille d'aluminium mince percée d'un trou que l'on observe avec un bon microscope muni d'un micromètre oculaire.

J'ai stroboscopé au moyen d'un dispositif très simple (1), qui permet de maintenir aussi longtemps qu'on veut un mouvement qui n'est autre que le mouvement réel qu'on ralentit à volonté. Un disque de cuivre, percé de trous et monté sur l'arbre d'une petite dynamo en série, découvre périodiquement la source lumineuse qui est formée par l'image d'un trou lumineux très petit. Il passe entre les branches d'un électro-aimant qui forme frein électrique et régularise le mouvement. Une partie du faisceau est concentrée par une lentille sur la petite plaque d'aluminium ; l'autre est renvoyée sur le diapason sonore. Au moment où la stroboscopie du diapason est atteinte, celle de l'image observée dans le microscope se produit aussi, et cette image reste au point constamment, lorsque l'appareil

(1) Cet appareil est employé par M. Lippmann à son cours de la Sorbonne.

est bien réglé, ce qui indique que le mouvement du style est une translation suivant sa propre direction et représente en vraie grandeur le mouvement du centre de la membrane. En enlevant l'oculaire du microscope, on peut projeter le mouvement sur un écran.

Pour être certain que le mouvement de la membrane était bien synchrone du mouvement de la source et n'introduisait pas d'harmoniques, je me suis servi des courbes de Lissajous. L'image réelle du point lumineux vibrant, donnée par le microscope, est renvoyée par un miroir fixe sur le petit miroir mobile du diapason vibrant, et on s'arrange de façon que les deux mouvements soient perpendiculaires. En mettant au point sur un écran l'image définitive, j'ai toujours trouvé les formes de courbes caractéristiques de l'unisson.

La membrane suit donc bien fidèlement le mouvement de l'onde sonore qui vient la frapper (¹) et permet de le mesurer.

Vibration des plaques téléphoniques ;

Par M. J. Cauro (²).

Après avoir essayé d'observer les déplacements de la plaque téléphonique au moyen du microscope, j'ai employé les anneaux colorés, que je stroboscopai. L'appareil (³) comprend un cercle vertical fixé sur un pied très lourd, sur lequel, par l'intermédiaire de trois vis à pas très fins, munies de ressorts antagonistes, vient s'appuyer un cercle mobile que l'on peut à volonté relier invariablement au premier au moyen de trois machines à vis. Ce deuxième cercle, par l'intermédiaire de trois équerres munies de vis, porte le téléphone sur lequel est collé, avec du baume de Canada, un petit disque en verre très mince travaillé optiquement avec grand soin.

Devant le téléphone se trouve un plan de verre monté sur un barillet, qui porte également une lentille convergente. Au foyer de

(¹) Ceci est très important au point de vue de l'étude des notes qui interviennent dans la formation des voyelles. On sait que les flammes manométriques de Kœnig que l'on a employées ont été accusées (par comparaison avec les résultats donnés par le phonographe) de ne pas suivre exactement les vibrations de l'air. Sans entrer dans l'étude de cette question, je puis dire que, si le fait est vrai, il ne tient pas à la membrane.

(²) Séance du 7 juillet 1899.

(³) M. Jobin a construit cet appareil avec son habileté accoutumée.

cette lentille, on forme une image très petite de la source constituée par un petit trou placé devant un brûleur à sel marin; celle-ci est très loin et située dans une direction perpendiculaire à l'axe de l'appareil, un petit prisme à réflexion totale permettant de renvoyer la lumière. On observe les anneaux en plaçant l'œil au point où viennent converger les rayons qui sortent de l'appareil. Il importe, pour supprimer les effets dus à la viscosité de l'air et à l'attraction des deux plaques, de laisser entre celles-ci une distance assez grande (2 millimètres environ).

On envoie dans l'appareil le courant téléphonique : les anneaux se brouillent, et on leur rend leur netteté en stroboscopant le faisceau ; on les voit alors se mouvoir lentement. Comme on a formé un quadrillage sur la lame de verre qui est en avant, on peut mesurer le déplacement. Celui-ci a toujours été d'une fraction de frange dans le cas des sons les plus forts transmis sans crachements.

Le phénomène est malheureusement trop petit pour qu'on puisse étudier comment il dépend des divers éléments : intensité du courant, hauteur du son, etc.

Sur les variations séculaires de l'inclinaison magnétique dans l'antiquité ;

Par M. Folgheraiter [1].

Les observations que nous possédons sur la valeur de l'inclinaison magnétique embrassent une période de trois siècles au plus.

L'exactitude des premières observations est assez douteuse; on peut toutefois affirmer, avec quelque certitude, que l'inclinaison dans l'Europe occidentale est allée en augmentant pendant le xviie siècle, pour atteindre un maximum vers sa fin et passer ensuite à une phase de diminution, qui continue encore de nos jours. L'usage de la *boussole* dans la navigation, qui remonte au xiiie siècle, prouve, du reste, que depuis ce temps l'inclinaison n'a pu atteindre à Paris

---

[1] Séance du 3 novembre 1899. — Extrait des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 4e période, t. VIII, p. 5; juillet 1899. — Voir aussi *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, Classe Scienze fisiche, ecc., Serie 5^a, vol. V, 2e sem. 1896, pag. 66, 127, 199, 242 et 293; — *Idem*, vol. VI, 1e sem. 1897, pag. 64; — *Idem*, vol. VIII, 1e sem. 1899, pag. 69, 121, 176 et 269.



ou à Londres une valeur beaucoup plus grande que la valeur maximum connue; car les navigateurs des mers du Nord eussent dû rencontrer des variations très rapides de la déclinaison, comme on les observe en passant près du pôle magnétique.

Les formules empiriques, qui expriment les valeurs des éléments du magnétisme terrestre en fonction du temps, et dont les coefficients ont été calculés d'après les observations, ne peuvent s'appliquer à des époques quelque peu éloignées des limites des observations mêmes.

Dans ces conditions, toute tentative d'étendre nos connaissances de l'histoire magnétique de la Terre doit être accueillie avec quelque intérêt.

J'ai fait connaître, dans les publications de l'Académie Royale des Lyncées à Rome, une méthode, qui m'a conduit à des conclusions assez précises sur la valeur de l'inclinaison en Italie et en Grèce quelques siècles avant Jésus-Christ; qu'il me soit permis de présenter ici un résumé de mes recherches.

Principe de la méthode. — Si l'on prend un cylindre ou bien un vase de forme quelconque, en argile, et qu'on le porte à une température élevée (vers 800°), on observe qu'après refroidissement le vase de terre cuite est devenu un aimant permanent, dont la distribution magnétique est celle qu'il a acquise par induction du champ terrestre pendant le refroidissement même.

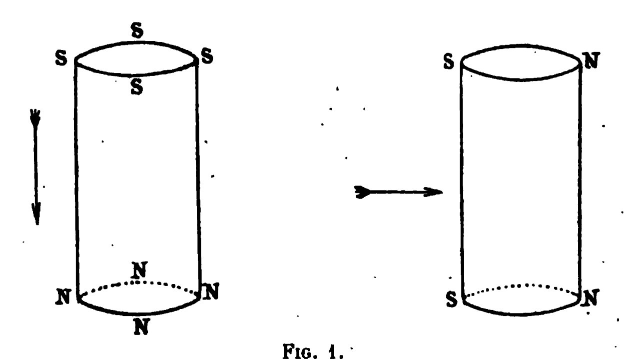


Fig. 1.

Supposons à présent que nous connaissions la position exacte du vase pendant la cuisson par rapport à des coordonnées terrestres, et que nous puissions déterminer la magnétisation induite par un champ uniforme sur un vase de la forme donnée, mais d'orientation quel-

conque par rapport à l'axe du champ. Il est clair que l'examen de l'état magnétique du vase cuit pourra nous renseigner exactement sur la direction du champ terrestre par rapport aux coordonnées choisies. Un vase étrusque, par exemple, est précisément d'argile cuite, et par conséquent la détermination expérimentale de sa distribution magnétique conduit à la connaissance de la direction du champ terrestre inducteur à l'époque de la cuisson.

Voilà le principe très simple de ma méthode, que deux cas extrêmes vont illustrer encore mieux.

Un cylindre creux est exposé en position verticale à la cuisson pendant que la direction du champ terrestre est verticale ou horizontale. Dans le premier cas nous obtiendrons un aimant avec deux polarités constantes le long des bords de chaque base. Dans le second cas, nous aurons sur les deux bases la même distribution magnétique depuis un maximum S jusqu'à un maximum N de signe contraire, en passant par zéro. L'on voit qu'un simple examen du vase, pourvu que l'on soit sûr de la verticalité de l'axe pendant l'aimantation, permettra de décider si l'inclinaison était nulle ou de 90°. Ainsi l'examen des terres cuites anciennes permet des conclusions sur l'inclinaison au temps de leur fabrication.

Condition d'applicabilité de la méthode. — Ma méthode repose sur deux données dont il faut d'abord prouver la certitude.

1° La distribution magnétique propre du vase n'a pas changé depuis l'instant de son refroidissement.

Il serait en effet à craindre que la magnétisation des terres cuites anciennes n'ait suivi depuis leur cuisson les variations du champ terrestre. Or il n'en est pas ainsi.

On peut facilement s'assurer, par l'expérience, qu'un changement magnétique permanent ne peut s'obtenir qu'avec des champs externes très puissants, qui n'ont certainement pas pu se produire à la surface terrestre, ou bien à des températures très élevées, et l'on sait que les conditions climatologiques de la Terre ont peu changé depuis les époques historiques.

Mais il y a des preuves plus directes.

Si l'on examine avec une simple aiguille les briques qui font encore partie d'anciennes constructions romaines, et qui ont donc conservé la même position depuis près de vingt siècles, on constate aisément que leur orientation magnétique est absolument individuelle : c'est-à-dire qu'elle change d'une brique à l'autre.

On se l'explique facilement. Dans la construction du mur les briques ont été placées l'une sur l'autre, indépendamment de la position qu'elles avaient eue dans le four, lors de la cuisson. Mais en même temps nous avons ici la preuve que le champ terrestre n'a pu opérer aucun changement sur le magnétisme déjà acquis par les briques; sinon, celles-ci devraient présenter toutes la même orientation magnétique, étant examinées à leur place.

Des excavations faites en 1883 à Arezzo, pour la fondation d'une maison, ont mis à jour une grande quantité de terres cuites entassées, c'est-à-dire vases et formes de vases (*matrici*), entiers ou en fragments, non seulement de la même époque — un siècle avant Jésus-Christ — mais portant aussi gravée la même marque de fabrique.

Or l'examen des vases entiers, des fragments, des vases recomposés en collant ensemble leurs débris retrouvés, donne toujours la même orientation magnétique par rapport à l'axe du vase. Si l'on pense que les fragments et les vases sont restés enfouis pêle-mêle sous le sol depuis un temps qui remonte à leur fabrication ou à peu près, on pourra bien conclure que la terre cuite conserve la magnétisation acquise, avec un degré de ténacité que nous ne pouvons affirmer pour aucune autre substance, y compris l'acier.

2° La position que les vases ont eue pendant la cuisson est connue.

Bien des vases laissent, il est vrai, des doutes sur la position qu'ils pouvaient avoir dans le four; mais il en est d'autres qui n'admettent qu'une seule position. Je veux citer ici seulement les vases qui sont riches en ornements et figures latérales, qui ont un bec très relevé ou encore une anse sur la bouche.

Ces vases ne peuvent avoir été cuits que dans une position verticale et avec le fond en bas; il n'est pas nécessaire de se connaître dans l'art du potier pour en convenir.

Étude expérimentale des vases cuits en position variable. — La partie expérimentale de mes recherches se compose de deux parties, dont la première a consisté à cuire dans un four expressément construit — c'est-à-dire absolument exempt de fer — des vases d'argile de formes très différentes et en position variable, mais exactement connue par rapport à la verticale et, par conséquent, à la direction du champ terrestre. En second lieu, il s'agissait de passer à un examen magnétique du vase pour établir, si de la connaissance de la distribution magnétique on pouvait, par des suppositions convenables, remonter par le calcul à l'angle formé par la direction du

champ avec l'axe du vase. Les résultats du calcul pouvaient ainsi être immédiatement contrôlés.

Supposons, d'abord, que le vase soit un cylindre creux, cuit avec son axe vertical, pendant que la direction du champ terrestre fait l'angle $\frac{\pi}{2} - i$ avec la verticale.

Nous admettrons que sur les contours des deux bases on ait une distribution de masses magnétiques due à la simple superposition de deux autres distributions : dont l'une est produite par la composante verticale v du champ terrestre, l'autre par la composante horizontale h.

Pour fixer la position d'un point sur le contour, nous donnerons la distance azimutale φ du plan qui passe par ce point et par l'axe du cylindre, avec le plan méridien, c'est-à-dire celui qui contenait originellement l'axe du cylindre et la direction du champ terrestre.

Nous supposerons encore que les masses magnétiques dues à la composante horizontale, et qui se trouvent en deux éléments diamétralement opposés de la même base, soient de signes contraires. (La manière la plus simple d'exprimer analytiquement cette supposition est d'admettre que la masse magnétique sur chaque élément du contour est représentée, à un coefficient de proportionnalité près, par l'expression $\pm v + h \cos \varphi$, le double signe se rapportant aux deux bases.)

Si l'on connaissait donc la masse magnétique distribuée sur un élément quelconque du contour et sur l'élément diamétralement opposé, la somme des deux valeurs donnerait une mesure de la composante verticale, la différence une mesure de la composante horizontale, si l'on tient compte de l'angle azimutal des deux points.

L'examen magnétique du cylindre se faisait de la manière suivante : le cylindre était tenu horizontal dans la direction est-ouest couché sur sa génératrice la plus basse. Près de l'extrémité de cette génératrice et sur son prolongement était une petite aiguille magnétique, dont on suivait les déviations angulaires avec échelle et miroir, lorsque, en faisant tourner le cylindre, on venait à le déplacer angulairement de valeurs successives données.

Si l'on pouvait admettre que les déviations de l'aiguille donnent une mesure de la masse située sur le point du bord le plus bas, on aurait, comme j'ai dit plus haut, par la somme de deux déviations correspondant à deux points diamétraux une mesure de la compo-

sante verticale ($2v$); par leur différence, une mesure de la composante horizontale ($2h \cos \varphi$); d'où l'on pourrait déduire la tangente de l'angle d'inclinaison ($\operatorname{tg} i = v : h$); la section méridienne serait caractérisée par les déviations maximum de côté et d'autre.

Mais il est nécessaire d'apporter une correction, due à ce que l'aiguille ressent non seulement l'action de la masse située sur le point le plus rapproché, mais aussi l'action de tous les autres points des contours des deux bases.

Si, à présent, on pouvait rigoureusement admettre que la distribution se réduit à des masses situées sur les points du contour et selon la loi susdite, cette correction ne serait pas difficile à apporter en déterminant les dimensions du vase et sa position par rapport à l'aiguille; mais j'ai vu que, dans la pratique, il suffit de tenir compte des masses situées sur certains points de l'une et de l'autre base.

Toute cette manière de calculer le rapport des deux composantes est bien de caractère empirique; mais il s'agissait justement de trouver une méthode que l'expérience justifiât, vu que le problème théorique de l'induction d'un vase situé dans un champ magnétique est absolument inaccessible à nos moyens analytiques.

Or, justement, en observant les déviations pour un grand nombre de points sur les deux bases avec des formules obtenues comme je l'ai exposé, je suis arrivé à des valeurs de l'angle entre l'axe du vase et l'axe du champ, qui ne différaient de la valeur vraie que d'un degré ou d'un degré et demi au plus.

Il faut ajouter que j'ai opéré avec des vases de formes différentes du cylindre, et qui ressemblaient à celles des vases anciens, que j'allais examiner dans la suite; et, en inclinant convenablement les vases dans le four, j'ai donné différentes valeurs à l'angle de l'axe du vase avec le champ; ce qui revenait à faire changer la valeur de l'inclinaison en supposant toujours le vase vertical.

J'insisterai encore sur la nécessité d'examiner successivement les deux bases par la même raison, qui constitue la difficulté des mesures magnétiques terrestres par déflection; je veux dire l'induction temporaire du champ terrestre pendant la mesure. Aussi la valeur de l'inclinaison, que l'on aurait en examinant seulement une base, est très incertaine.

Les longues et pénibles recherches préliminaires, dont j'ai exposé ici seulement les résultats, m'avaient désormais mis en possession d'une méthode d'examen magnétique, et de formules, qui me permet-

taient de déduire l'angle d'inclinaison. Aussi je suis passé à l'étude des vases anciens, d'époque bien déterminable.

Résultats des observations sur les vases anciens. — J'exposerai brièvement ici les conclusions auxquelles je suis arrivé, en renvoyant à mes publications originales le lecteur désireux de détails.

De l'examen des vases étrusques, qui sont conservés au Musée de la Villa Giulia, à Rome, et de la riche collection privée du comte Faina, à Orvieto, il résulte que :

Au VIIIe siècle avant l'ère chrétienne, l'inclinaison magnétique dans l'Italie centrale avait une valeur très petite, et, de plus, elle était *australe* (c'est-à-dire que l'extrémité la plus basse d'une aiguille magnétique aurait été non le pôle nord, comme à présent, mais le pôle sud); deux siècles plus tard, l'inclinaison avait une valeur très sensiblement nulle.

De l'examen des vases étrusques conservés au musée d'Arezzo, il résulte que :

L'inclinaison dans la première moitié du Ier siècle avant l'ère chrétienne avait, à Arezzo, à peu près la même valeur qu'aujourd'hui ;

Des vases contenus dans le Musée de Naples, que :

A Pompéï, ou plus précisément dans l'endroit de fabrication des vases pompéiens, l'inclinaison magnétique avait, peu avant la destruction de la ville (79 ans après J.-C.), la valeur de 66°.

L'examen des vases attiques et corinthiens conservés dans les Musées de Florence, Naples et Syracuse, m'a conduit aux résultats suivants :

Dans la période des premiers vases corinthiens et des attiques à figures noires sur fond rouge, l'inclinaison était australe (VIIe siècle avant J.-C.).

Peu après, peut-être au commencement du VIe siècle, l'inclinaison était nulle et devint, après, boréale. Près de la fin de la période de fabrication des vases attiques (fin du Ve siècle avant J.-C.), l'inclinaison était de près de 20° et boréale.

Il restait à connaître les variations de l'inclinaison entre le Ve et le Ier siècle, et j'ai espéré pouvoir utiliser les vases de la Campanie, de l'Apulie et de l'Étrurie. Malheureusement mes observations n'ont conduit qu'à une discussion sur les données des archéologues; l'époque précise de la fabrication des vases qui nous sont restés n'est pas connue avec une précision suffisante.

La courbe (*fig.* 2) représente à peu près, et comme une première

approximation, les variations de l'inclinaison dans une période de neuf siècles, c'est-à-dire depuis 800 ans avant Jésus-Christ jusqu'à la fin du Ier siècle après Jésus-Christ.

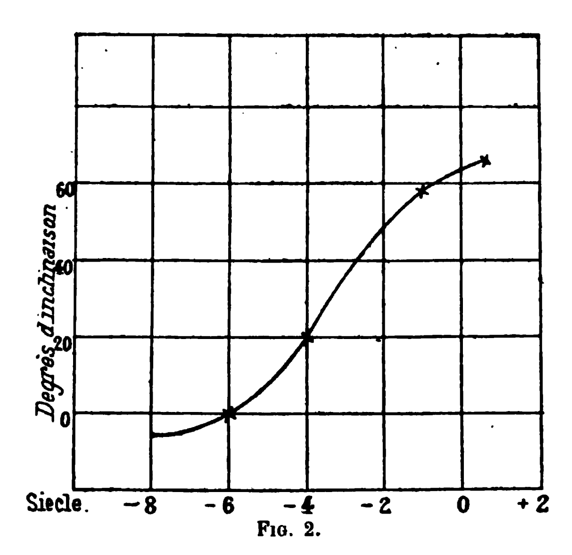


Fig. 2.

Dans le VIe siècle avant l'ère chrétienne, l'équateur magnétique passait par l'Italie centrale. On voit aussi que les oscillations de l'aiguille d'inclinaison, si ces oscillations existent, ont une amplitude très considérable.

Mes recherches ont porté, comme on l'a vu, sur la connaissance d'un seul élément du magnétisme terrestre. Mais il n'est pas inutile d'observer que, si l'on pouvait retrouver des fours à briques anciens et intacts, une maison en briques, qui ait été exposée à un grand incendie d'une époque connue, on pourrait facilement connaître aussi la valeur de la déclinaison en faisant des mesures tout autour de l'édifice.

On pourrait espérer aussi arriver à quelque conclusion sur l'intensité du champ terrestre en recuisant des vases anciens et en comparant les intensités de magnétisation acquise, ancienne et actuelle; mais des mesures sur des vases cuits et recuits à plusieurs reprises m'ont montré que cette méthode conduirait à des résultats trop incertains.

Étude de l'atmosphère dans la verticale par cerfs-volants et ballons-sondes;

Par M. Léon Teisserenc de Bort (1).

L'étude de l'atmosphère, qui a fait de très grands progrès, grâce aux observations recueillies dans presque toutes les régions du globe, a, pendant longtemps, été très incomplète, parce qu'on n'a pu pénétrer directement que dans les couches inférieures.

L'observation et la mesure systématiques des mouvements des nuages si heureusement préconisées par M. Hildebrandsson, et la création de nombreux observatoires de montagnes ont permis de commencer à analyser ce qui se passe dans le sein de l'atmosphère; mais l'impossibilité où l'on est, dans bien des cas, d'observer le mouvement des nuages élevés, l'influence du sol, d'autre part, dans les stations de montagne, rendent encore bien précaires ces moyens d'informations. Les ascensions scientifiques faites en divers pays ont certainement donné des renseignements précieux; mais là encore on avait à craindre l'erreur systématique venant de ce que l'on choisit d'ordinaire, pour monter en ballon, des situations où l'atmosphère n'est pas assez troublée pour mettre en péril grave la vie des aéronautes. Aussi est-ce avec un grand enthousiasme que tous ceux qui s'intéressent à la météorologie ont accueilli les premières tentatives faites aux États-Unis pour explorer l'atmosphère à l'aide de cerfs-volants et celles qui ont été faites en France par M. le colonel Renard et par MM. Hermite et Besançon, pour porter dans les hautes couches de l'air les instruments enregistreurs en les confiant à des ballons libres dits « sondes aériennes » ou « ballons-sondes ».

Dans l'intervalle de moins de cinq années, grâce à des perfectionnement successifs, on arrivait ainsi, d'une part, à Blue Hill, sous la direction de mon ami M. Laurence Rotch, à atteindre 3.685 mètres, en août 1898, et 3.802 mètres, le 28 février 1899, par l'emploi des cerfs-volants, et, en France, à dépasser 15.500 mètres dans l'ascension du ballon *l'Aérophile* du 13 mai 1897.

La météorologie était ainsi dotée de deux nouveaux moyens de recherches très précieux, se complétant l'un l'autre. De la phase des

(1) Séance du 16 juin 1899.

tâtonnements on est arrivé à celle où l'on peut s'attacher à rapporter par ces lancers des documents précis, et non plus seulement s'occuper du succès matériels des procédés techniques.

Nous allons passer rapidement en revue les moyens employés pour arriver à ce résultat et élever nos instruments presque à coup sûr au sein de l'atmosphère libre.

L'emploi du cerf-volant pour un usage scientifique remonte à Franklin, qui, dès 1748, employa cet appareil pour étudier l'électricité des nuages orageux. A peu près à la même époque, Wilson, professeur d'astronomie à Glascow, fit porter en l'air par plusieurs cerfs-volants, attelés à une même ficelle, un thermomètre qui était entouré d'épais bourrelets de papier; un déclenchement par une ficelle auxiliaire permettait de faire tomber sans le briser ce thermomètre sur le sol où on en faisait la lecture.

En 1822, à l'île d'Igalik, dans l'Amérique du Nord, le capitaine Pary et le R. Georges Fisher lancèrent un cerf-volant porteur d'un thermomètre à maxima et à minima. Dans ces dernières années, en 1883, M. Archibald fit en Angleterre une série d'expériences sur la vitesse du vent au-dessus du sol en enlevant, jusqu'à une hauteur de 700 à 800 mètres, un anémomètre enregistreur. Dans ces dernières expériences, comme d'ailleurs dans d'autres faites en Amérique vers 1837, on employait un fil métallique pour retenir le cerf-volant.

Les travaux faits dans les huit dernières années par M. Eddy de Bayonne (États-Unis), et par M. Hargrave de Sydney ont amené un progrès absolument capital dans la construction du cerf-volant. Les types auxquels ils sont arrivés se maintiennent parfaitement stables dans l'air sans l'adjonction d'aucune espèce de queue ou de chevelure. Le cerf-volant d'Eddy n'est qu'un perfectionnement du cerf-volant Malais; car ces derniers, ainsi d'ailleurs que les Chinois, savent depuis très longtemps faire des cerfs-volants de formes assez variées sans queue; il est vrai que ce sont des cerfs-volants de papier très léger. Le cerf-volant Eddy (*fig.* 1*b*) est un cerf-volant en forme de losange dont deux des côtés forment entre eux un angle très obtus, de façon que ce cerf-volant a grossièrement la forme d'un triangle. Il se rapproche donc beaucoup de la plupart des cerfs-volants employés par les enfants; mais, au lieu d'être plat, il se compose de deux plans qui se coupent suivant une des diagonales du losange. Ce cerf-volant a été employé avec assez de succès en Amérique; il est très léger; mais il offre l'inconvénient de n'être pas très stable

et de ne fonctionner convenablement que lorsqu'il est parfaitement équilibré et que les surfaces inclinées ne présentent aucune dissymétrie. Il a donc été abandonné par la plupart des expérimentateurs et remplacé par le cerf-volant cellulaire Hargrave.

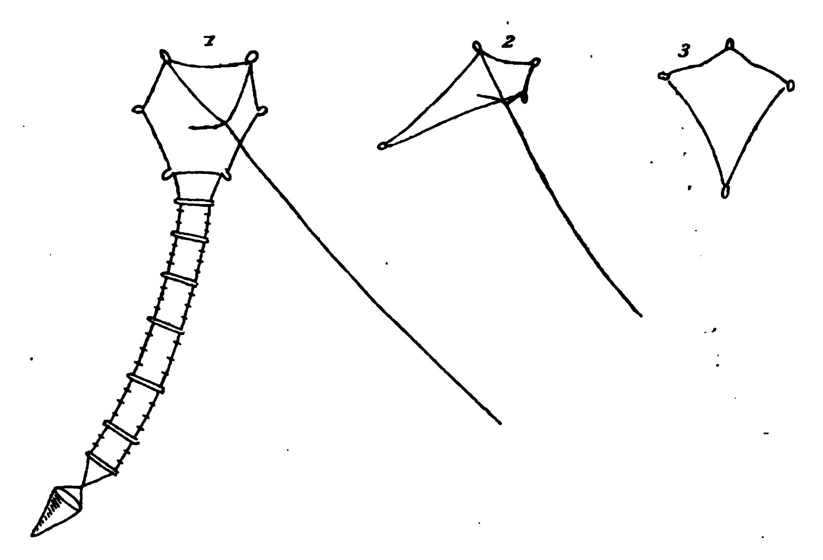


Fig. 1. — *a*, cerf-volant avec queue employé en 1897, à Trappes ; — *b*, cerf-volant Eddy, vu de trois quarts ; — *c*, vu de face.

Ce dernier est une sorte de tube rectangulaire, dont l'enveloppe est formée de toile légère avec une solution de continuité dans la partie centrale du tube où il n'existe que la monture ; deux brides, qui s'attachent soit à deux des montants verticaux à droite et à gauche, soit à un montant central, permettent de relier le cerf-volant à sa corde. L'action du vent sur ces cerfs-volants est tout à fait analogue à ce qu'elle est sur les cerfs-volants usuels ; mais la différence essentielle réside dans la présence des plans verticaux formés par les côtés du tube qui servent à maintenir le cerf-volant dans le lit du vent et remplacent ainsi avec avantage la queue des cerfs-volants ordinaires. Ainsi gréé et rattaché à une ficelle ou à un petit fil d'acier de 150 ou 200 mètres de longueur, ce cerf-volant s'élève par un vent moyen, c'est-à-dire ayant au moins 7 mètres par seconde, à une hauteur angulaire de 50° à 55° au-dessus de l'horizon.

Un cerf-volant Hargrave de 2^m,40 de surface exerce par un vent de ce genre une traction de 6 à 8 kilogrammes ; il peut donc porter un enregistreur du poids de 1.500 grammes et plusieurs centaines de mètres de ficelle ou mieux de fil d'acier dit « corde de piano », qu'on a substitué aux cordages végétaux, comme beaucoup plus résistant et offrant une surface bien moindre à l'action du vent.

Ordinairement, pour plus de sécurité, on relie à la ligne principale deux cerfs-volants attelés en tandem, et on met ensuite l'enregistreur suspendu à quelques mètres au-dessous de la ligne principale (*fig.* 2).

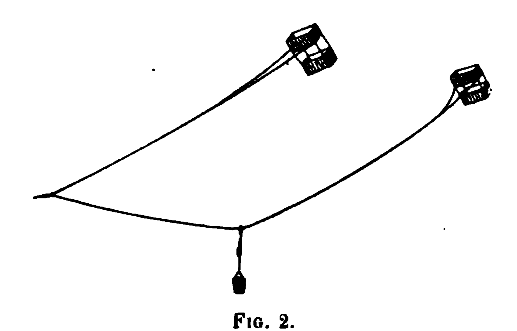


Fig. 2.

On dévide alors la bobine sur laquelle est enroulé le fil jusqu'au moment où la direction du fil d'acier ne fait plus, au départ du treuil, qu'un angle voisin de 30° avec l'horizon. A ce moment, il est nécessaire d'attacher à la ligne principale un nouveau cerf-volant. On continue à procéder ainsi jusqu'à ce que la tension du fil risque d'en amener la rupture, c'est-à-dire que, pour les fils employés ordinairement, qui ont 0^m,82 de diamètre et se rompent aux environs de 120 kilogrammes, on ne doit pas dépasser 70 kilogrammes de traction, la moindre augmentation de la force du vent pouvant déterminer un accroissement de traction très notable.

Le treuil sur lequel s'enroule le fil d'acier comprend, comme organe essentiel, une grosse bobine qui porte le fil mû par des manivelles, un frein qui permet de modérer ou d'arrêter le mouvement de la bobine quand elle tourne sous l'action des cerfs-volants, un dynamomètre qui mesure la tension du fil. Comme la direction du fil change dans l'espace, on fait passer le fil dès son arrivée au treuil sur une poulie à axe horizontal montée elle-même autour d'un axe vertical

placé tangentiellement, de façon que la poulie peut s'orienter dans tous les azimuts.

A Trappes, nous avons rendu mobile le treuil lui-même en le plaçant sur une plaque tournante. Cette disposition permet d'orienter l'appareil suivant les différents vents; la plate-forme mobile porte une guérite qui abrite de la pluie le treuil et la personne qui le conduit.

Pour ramener les cerfs-volants dans le treuil de campagne, on agit directement à bras à l'aide d'une ou plusieurs manivelles; mais ce travail est très laborieux, puisque, dans une ascension qui atteint 1.000 mètres, on peut avoir à dépenser 120.000 kilogrammètres pour ramener les cerfs-volants au sol. On est donc amené à employer un moteur pour ce genre de travail. A Blue-Hill on a adapté au treuil un petit moteur à vapeur de 2 chevaux. A Trappes, où nous avions une force motrice fixe, nous avons mis à contribution l'électricité pour mouvoir notre treuil. Une dynamo de 3 chevaux, qui reçoit le courant d'une génératrice placée à quelque distance, actionne le treuil. Cette disposition, bien qu'il y ait certainement beaucoup de force perdue par les transformations d'énergie successives, offre de tels avantages au point de vue de la conduite du treuil que je n'hésite pas à la recommander à tous les établissements qui ont la force électrique à leur disposition. On peut, en effet, régler très exactement par ce moyen la vitesse de rotation du treuil et la faire varier, si c'est nécessaire, de façon que jamais l'augmentation de pression exercée sur les cerfs-volants par les mouvements de rappel au sol ne risque d'amener la rupture de la ligne; c'est là un point très important, qui ne saurait échapper à personne, lorsque l'on considère que, par des vents forts, le moindre déplacement relatif du cerf-volant dans le sens opposé au vent a pour effet d'augmenter sensiblement la pression, de façon que tout à-coup brusque d'une machine agissant sur le treuil amènerait la rupture de la ligne.

Depuis quatre ans que les sondages par cerfs-volants sont exécutés, ils ont conduit, en Amérique, à une conclusion très intéressante, à savoir que, dans bien des cas, les variations de température qui se font sentir au niveau du sol sont accusées par les cerfs-volants de six à douze heures avant de nous atteindre. On voit donc le parti que la prévision du temps peut tirer de ces observations. Elles montrent aussi que la variation diurne de la température disparaît à peu près complètement à un millier de mètres.

Nous avons fait, depuis l'automne de 1897, plus de cent cinquante ascensions par cerfs-volants à l'observatoire de Trappes, bien que les circonstances atmosphériques soient moins favorables que sur la côte américaine.

Ces observations mettent bien en lumière l'importance des inversions de température dans la verticale dès que le régime cyclonique a cessé ; c'est au point que l'existence d'une décroissance de tempé-

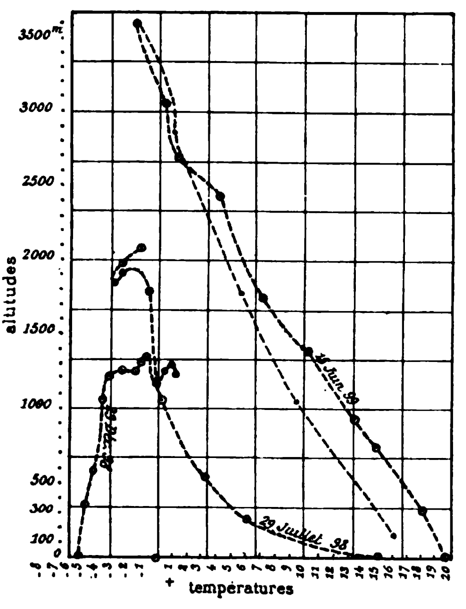


Fig. 3.

rature, très faible dans les 1.200 premiers mètres, indique à peu près sûrement du beau temps pour le lendemain. Les courbes ci-jointes (*fig.* 3) se rapportent, l'une (23 décembre 1898) à un jour où il y a inversion de température, l'autre (29 juillet 1898) à un régime cyclonique avec décroissance de température rapide.

La courbe du 15 juin est une courbe par pression barométrique moyenne et beau temps.

Pour nous comme pour les Américains, les ascensions sont devenues de plus en plus hautes, à mesure que notre matériel s'améliorait et que nous savions mieux conduire le lancé.

Le voisinage de plusieurs lignes de chemins de fer et d'un réseau

télégraphique assez serré nous a empêché, dans bien des cas, de développer de longues lignes de fil, la moindre avarie faisant porter notre ligne sur la voie du chemin de fer. Cependant, dès la première année, nous avons atteint la hauteur de 2.000 mètres, puis de 2.500, 3.850 mètres, altitude, qui dépasse déjà celle qui a été obtenue en Amérique, à Blue Hill. Enfin, en septembre dernier, nous avons pu élever nos instruments à l'altitude de 4.300 mètres.

Quel que soit le succès du cerf-volant, l'altitude atteinte par les cerfs-volants est forcément limitée. De plus, ils ne peuvent s'élever par les temps calmes ; il faut donc recourir à l'emploi des ballons pour explorer l'atmosphère d'une façon plus complète. J'ai rappelé, en commençant, le rôle prépondérant de la science française dans cette question. Les ascensions des *Aérophiles* de MM. Hermite et Besançon ont montré : 1° que la température était bien plus basse, qu'on ne le supposait, d'après les observations de montagne, puisqu'ils ont trouvé une température de — 60° à une altitude inférieure à 14.000 mètres ;

2° Elles ont fait voir aussi que le gaz de l'intérieur du ballon se refroidissait très rapidement à la montée, de façon à se rapprocher de la température théorique obtenue par la détente du gaz pour la même différence de pression. Ce fait, négligé jusqu'à présent, parce qu'il est masqué d'ordinaire par la forte hausse de température qui se produit quand le ballon est soumis à l'insolation, a une importance pratique assez grande, et on doit en tenir compte dans le calcul de la hauteur que peut atteindre un ballon partant de nuit ;

3° Ces ascensions ont amené M. Hermite à créer le genre d'abri appelé « parasoleil », qui est certainement ce qu'on a trouvé de mieux jusqu'ici pour abriter les instruments contre la radiation solaire. Ce parasoleil consiste en un tube de papier noirci intérieurement et recouvert extérieurement de papier d'étain de façon à s'échauffer le moins possible sous l'action du soleil direct.

Depuis la Conférence météorologique de Paris, une entente internationale a eu lieu et, à certaines époques choisies, on a lancé des ballons-sondes de Paris, Berlin, Strasbourg, Vienne, Munich, Saint-Pétersbourg. Ces ascensions, au nombre de six, ont été encore trop peu nombreuses pour amener la découverte de lois bien précises, mais ont permis d'étudier les méthodes et d'éclaircir quelques points de détail.

En présence de la diversité des situations atmosphériques et de la

rapidité avec laquelle les phénomènes se transforment d'un jour à l'autre, j'ai pensé qu'il était nécessaire de procéder à des sondages aériens très répétés, ayant lieu au besoin plusieurs fois par semaine et, pour cela, nous avons d'abord porté notre attention sur les moyens de rendre plus simples et moins coûteux les lancés de ballons-sondes.

Nous avons obtenu ce résultat en employant l'hydrogène pur, qui permet de diminuer beaucoup le diamètre des ballons et en allégeant autant que possible le poids des instruments emportés sans nuire à leur précision.

Pour pouvoir faire partir ces ballons même avec des vents violents, car les temps de tempête qui n'ont presque jamais été étudiés offrent le plus grand intérêt, j'ai cherché un dispositif qui permît, une fois le gonflement opéré, de lancer le ballon sans qu'il eût à souffrir des premières rafales, étant donné que nous voulions toujours employer des filets extra-légers. Pour cela, je me suis arrêté à la disposition suivante : J'ai fait établir sur une petite plaque tournante un hangar très léger ouvert d'un seul côté. Le gonflement une fois opéré dans ce hangar, on a soin de tourner son ouverture à l'opposé du vent. Les instruments étant accrochés au ballon, on y fixe également un délesteur à sable ou à liquide muni d'un orifice réglé de façon à ce qu'il se vide en temps convenable, généralement quarante minutes. Le ballon est alors amené auprès de la porte du hangar ; on soutient le délesteur de façon à aider un peu le départ du ballon, et le tout est mis à l'air avec le moins de secousse possible. Nous avons pu, grâce à cette méthode, lancer des ballons-sondes par des tempêtes où le vent atteignait 14 mètres par seconde.

Pour éviter l'influence perturbatrice des rayons solaires et surtout le rayonnement de la partie supérieure des nuages quand ils sont en grande masse et qu'ils forment cette mer de nuages éblouissants, bien connue des alpinistes et des aéronautes, nous avons fait la plupart de nos ascensions de nuit d'abord au clair de lune, avec beaucoup de peine, je dois le dire, puis à la lumière électrique, quand il m'a été possible d'améliorer notre outillage. Depuis le mois de mars de l'année dernière, nous avons lancé plus de cent-vingt ballons, qui ont rapporté des courbes de température et de pression. La hauteur de 13.000 mètres a été atteinte vingt-quatre fois ; celle de 14.000 mètres, huit fois ; celle de 15.000 mètres, trois fois.

Nous pouvons, avec notre outillage actuel, atteindre presque chaque fois la hauteur de 13.000 mètres.

Je saisis cette occasion pour remercier tous mes collaborateurs, et en particulier M. G. Raymond, du concours dévoué qu'ils ont apporté à l'œuvre commune.

En limitant la discussion des observations recueillies à la partie de l'atmosphère qui s'étend du sol à 10.000 mètres, région qui a été explorée par le plus grand nombre des ballons, on voit :

1° Que les différences de température d'un jour à l'autre peuvent être plus grandes, à 7 ou 8.000 mètres, que celles qu'on constate, le même jour, auprès du sol. Ce fait a une assez grande importance, et il est d'ailleurs contraire aux idées qu'on s'était faites à ce sujet;

2° On voit que la température décroît beaucoup plus vite au voisinage des centres de dépression qu'ailleurs. Cette décroissance, dans certains cas, arrive à être voisine de 0°,90 pour 100 mètres.

Enfin on remarque que, dans un grand nombre d'aires de haute pression, je ne dis pas dans toutes, la décroissance de température se présente de la façon suivante : du sol à 1.500 ou 2.000 mètres, la température varie peu et même souvent augmente, après quoi elle commence à diminuer normalement et finit par arriver à 9 ou 10.000 mètres à une décroissance voisine de 1° pour 100 mètres. Si nous rapprochons ces faits de ceux qu'on observe dans les dépressions, on reconnaît que la variation dans la verticale présente ordinairement l'allure suivante.

La partie inférieure des dépressions est souvent plus chaude que celle des aires de forte pression, mais après quelques centaines de mètres la décroissance rapide détermine des températures inférieures dans la dépression.

Aussi la partie moyenne d'une dépression vers 3 ou 4.000 mètres est ordinairement plus froide que la partie correspondante du maximum barométrique. Ce fait a déjà été démontré par M. Hann, par les observations de montagne; mais les ballons-sondes, en confirmant ce premier résultat, montrent que plus haut les températures tendent de nouveau à s'égaliser, ce qui a une grande importance pour la forme des isobares supérieures.

J'aurais voulu pouvoir dire quelques mots des températures de la haute atmosphère, de celle qui s'étend au-dessus de la région ordinaire des cirrus; mais, bien que nous ayons des observations à ces hauteurs, il nous faut attendre, pour les discuter, d'être assuré que le thermomètre, quand l'air est si peu dense, arrive à se mettre par simple contact en équilibre de température avec son milieu. Dans le

cas contraire il faudra recourir à des méthodes spéciales pour prendre la température de l'air aux grandes altitudes.

Recherches expérimentales sur les oscillations électriques;

Par M. Albert Turpain (1).

Les recherches expérimentales que nous avons entreprises sur les oscillations électriques, et qui sont résumées dans cette note, se divisent en trois parties principales.

Dans une première série d'expériences, nous nous sommes proposé de faire une analyse du champ hertzien : champ concentré par deux fils, champ concentré par un fil unique, et leur comparaison.

Une deuxième partie comprend l'étude du fonctionnement du résonateur. A l'étude du résonateur complet de Hertz, nous avons fait succéder l'étude d'un résonateur présentant une coupure indépendamment de celle constituée par le micromètre : le résonateur à coupure. Nous nous sommes astreints à n'utiliser dans nos expériences que des résonateurs filiformes de Hertz constitués par des tiges métalliques de 1 centimètre de diamètre.

Enfin l'étude comparative du champ hertzien dans l'air et dans les diélectriques constitue la dernière partie de nos recherches.

I

Analyse expérimentale du champ hertzien. — *Champ ordinaire de Hertz à deux fils.* — Ce champ est constitué par deux fils parallèles issus de plaques terminales voisines des deux plateaux d'un excitateur de Hertz. Le résonateur à l'aide duquel on procède à l'investigation du champ est successivement placé dans trois positions différentes : la position I, dans laquelle son plan est perpendiculaire à la direction des fils ; la position II, dans laquelle le plan du résona-

(1) Séance du 17 novembre 1899.

teur coïncide avec le plan des fils ; la position III, dans laquelle le résonateur coïncide avec le plan de symétrie des fils. Dans chacune de ces trois positions on fait occuper au micromètre toute une série de positions différentes en déplaçant le résonateur dans son plan par rotation autour de son centre. On marque les principaux azimuts occupés ainsi par le micromètre par les notations 0°, 90°, 180°, 270°, comme l'indique la *fig.* 1.

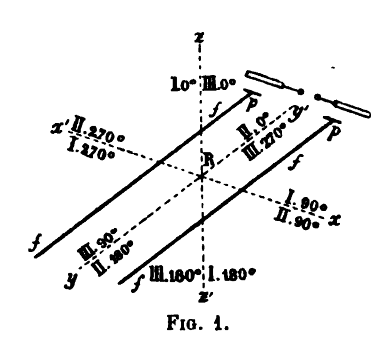


FIG. 1.

Cette analyse du champ ordinaire de Hertz à deux fils conduit aux lois suivantes :

1° *Les longueurs d'ondes relatives aux trois positions I, II, III sont égales ;*

2° *Les ventres et les nœuds des positions II et III coïncident ;*

3° *Les ventres de la position I coïncident avec les nœuds des positions II et III, et inversement.*

Champ à un fil unique. — Si l'on supprime un des fils du champ ordinaire de Hertz et que l'on étudie le champ ainsi concentré par un seul fil à l'aide d'un résonateur, qui conserve par rapport au fil tendu la même position respective qu'il avait lorsque le second fil était tendu, on observe un système de ventres et de nœuds successifs étagés le long du fil tendu.

1° Position I. — *L'extrémité libre du fil est un ventre ;*

2° Position II. — *L'extrémité libre du fil est un nœud ;*

3° Position III. — *L'extrémité libre du fil est un nœud.*

Ainsi donc, ici encore, la loi de la permutation des ventres et des nœuds subsiste quand on passe de la position I aux positions II ou III.

Comparaison des champs à deux fils et à un fil. — De ces lois rela-

tives au champ à un fil unique, on peut prévoir, par de simples considérations de symétrie, la loi suivante, que l'expérience indique d'ailleurs :

1° *Les champs à un fil et le champ ordinaire à deux fils donnent le même système de sections nodales et ventrales.*

En effet, dans le champ ordinaire à deux fils, les deux ventres en regard se trouvent au même instant dans des états électriques différents ; mais la position respective de l'un des ventres par rapport au résonateur est l'image de celle de l'autre ventre par rapport au résonateur. On conçoit donc que les actions de chacun des deux ventres en regard sur le résonateur doivent s'ajouter. Les phénomènes doivent donc être plus intenses dans le cas de deux fils qu'ils ne le sont dans le cas d'un seul fil. C'est ce que l'expérience vérifie.

Champ interférent. — Supposons maintenant (*fig.* 2) qu'au lieu de concentrer le champ hertzien par deux fils réunis à deux plaques

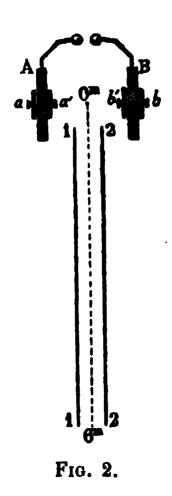


Fig. 2.

respectivement voisines de chacun des plateaux de l'excitateur, comme cela a lieu dans le cas du champ ordinaire à deux fils, nous fassions aboutir les deux fils de concentration à deux plaques voisines du même plateau de l'excitateur. On constate alors que le résonateur déplacé dans le champ à la manière habituelle (position I) ne décèle plus aucun système de ventres et de nœuds. Aucune action ne se manifeste plus sur le résonateur.

Dans le cas actuel, les deux fils de concentration sont exactement la copie l'un de l'autre. Leurs actions sur le résonateur de Hertz, au lieu de s'ajouter, comme dans le cas du champ ordinaire à deux fils, s'opposent et semblent se détruire. Aussi donnerons-nous à un champ ainsi constitué le nom de *champ interférent*, pour le distinguer du *champ ordinaire* à deux fils de Hertz.

On peut d'ailleurs prévoir ce phénomène d'interférence. Au même instant deux ventres en regard pris l'un sur un fil, l'autre sur l'autre fil, se trouvent dans le même état électrique ; mais, ici encore, la position respective de l'un des ventres par rapport au résonateur étant l'image de celle de l'autre ventre par rapport au résonateur, les actions de chacun des deux ventres sur le résonateur sont égales et de sens opposé ; elles doivent donc se détruire. C'est ce que l'expérience vérifie.

On doit donc considérer deux ventres consécutifs étagés sur un même fil comme présentant, au même instant, des états électriques différents. Par analogie avec l'état que présente un tuyau sonore en

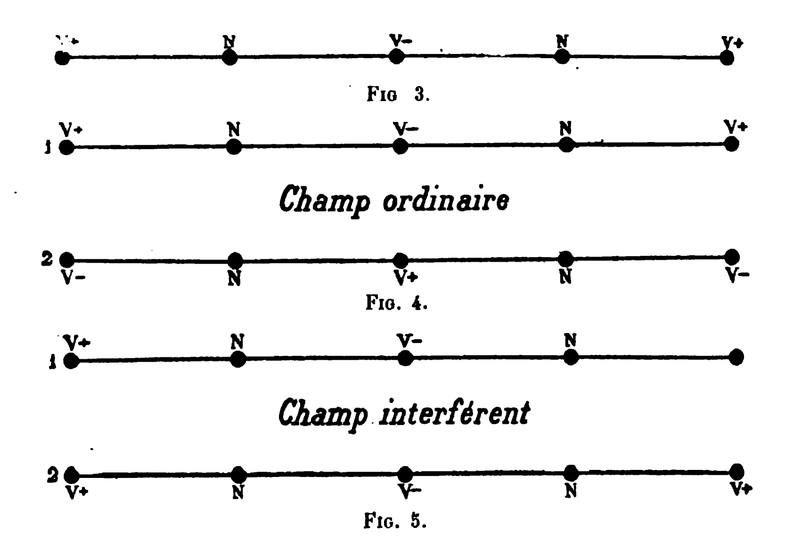


Fig 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

activité, nous indiquerons cette différence entre deux ventres consécutifs en les affectant d'un signe. De telle sorte que l'état électrique présenté par un seul fil sera représenté par le schéma de la *fig.* 3. Le champ ordinaire à deux fils sera représenté par le schéma de la *fig.* 4 ; le champ interférent à deux fils, par le schéma de la *fig.* 5.

Il est possible de transformer un champ interférent à deux fils en champ ordinaire, et inversement, sans changer aucune connexion entre les fils et les plaques de concentration. Il suffit (*fig.* 6) de pratiquer sur un des fils une coupure et d'y intercaler une longueur

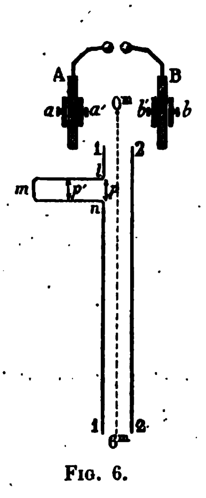


Fig. 6.

additionnelle de fil égale à la demi-longueur d'onde du résonateur à influencer. Comme le montre la *fig.* 7, le champ à deux fils, *interférent* avant la coupure, est *ordinaire* après coupure. Si l'on supprime la longueur additionnelle $\frac{\lambda}{2}$ par l'interposition d'un pont *p* réunis-

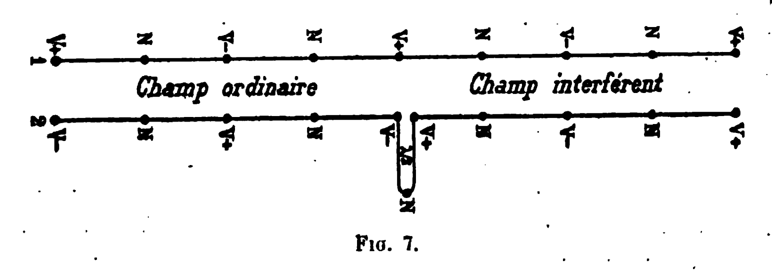


Fig. 7.

sant les points *l* et *n*, le champ est interférent d'un bout à l'autre des fils. L'enlèvement du pont rétablit le champ ordinaire après la longueur additionnelle de fil.

Qu'un résonateur soit placé à l'extrémité des fils la plus éloignée de l'excitateur, et l'on conçoit que, par la manœuvre du pont *p*, on puisse l'influencer à volonté plus ou moins longuement.

L'établissement des champs interférents et leur très commode transformation à volonté en champs ordinaires peuvent être appliqués à la télégraphie. En particulier, ces phénomènes permettent de résoudre d'une manière des plus simples l'important problème de la multicommunication télégraphique. Les détails de cette application dépasseraient les limites de cette note.

II

FONCTIONNEMENT DU RÉSONATEUR. — *Résonateur complet.* — Nous nommerons résonateur complet un résonateur qui n'offre d'autre interruption que celle du micromètre.

L'étude d'un résonateur circulaire de Hertz conduit aux lois suivantes :

1° *Le fonctionnement du résonateur est indépendant de la direction de l'étincelle au micromètre ;*

2° *Le résonateur déplacé dans son plan présente des azimuts d'extinction pour les positions I et III. — Ce sont les azimuts* $\alpha = 90°$ *et* $\alpha = 270°$ (Voir *fig.* 1). — *Il n'existe pas d'azimut d'extinction pour la position II, mais deux azimuts de minimum d'effet,* $\alpha = 90°$ *et* $\alpha = 270°$ (Voir *fig.* 1).

La première partie de cette seconde loi avait été déjà indiquée.

La détermination des longueurs d'onde que décèle un résonateur disposé dans la position III, le micromètre étant situé dans l'azimut $\alpha = 0°$ ou dans l'azimut $\alpha = 180°$, montre qu'on doit rapporter la situation du résonateur non pas à son centre, mais au micromètre.

On n'a pas à tenir compte du rayon du résonateur dans la position I pour les divers azimuts, le micromètre se déplaçant constamment dans le plan du résonateur, plan qui est normal au fil.

Mais dans la position II, suivant qu'il se trouve dans l'azimut $\alpha = 0°$ ou dans l'azimut $\alpha = 180°$, le micromètre est ou plus près ou plus loin de l'excitateur que le centre du résonateur, et l'écart est égal au rayon du résonateur. Le centre du résonateur et le micromètre ne se trouvent plus correspondre, pour ces deux azimuts, avec le même repère du banc de mesure.

On peut énoncer la loi suivante :

3° *C'est la situation du micromètre qui règle dans le cas de la position II, azimuts* $\alpha = 0°$ *et* $\alpha = 180°$, *la situation du ventre.*

Pour soumettre cette loi à un contrôle expérimental décisif, nous nous sommes servis d'un résonateur oblong S mesurant $1^m,50$ de développement (*fig.* 8) et offrant cependant, par suite même de sa forme, près de 75 centimètres entre le micromètre et la partie du résonateur qui en est la plus éloignée.

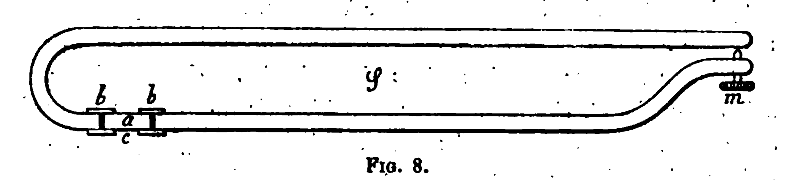


Fig. 8.

Si l'on compare entre elles les longueurs d'onde de deux résonateurs, d'une part, et les longueurs de ces résonateurs, d'autre part, on peut énoncer la loi suivante :

4° *La différence entre les demi-longueurs d'onde relatives à deux résonateurs est sensiblement égale à la différence de leurs longueurs :*

$$\lambda - \lambda' = 2(L - L').$$

Résonateur à coupure. — On peut, comme nous l'avons indiqué dès 1895 (¹), pratiquer une coupure dans un résonateur circulaire de

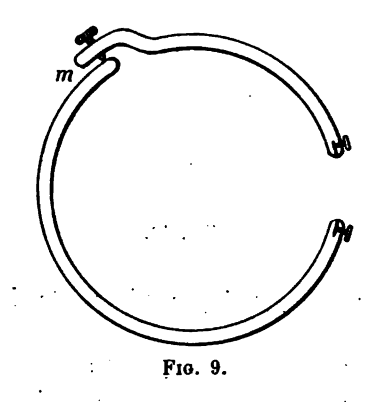


Fig. 9.

Hertz, indépendamment de celle offerte par le micromètre, sans que l'appareil cesse de fonctionner.

La coupure pratiquée est dite *symétrique*, si le diamètre du réso-

(¹) *Sur les expériences de Hertz* (*Procès-verbaux des séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 4 avril 1895, p. 53).

nateur qui passe par le micromètre passe par le milieu de la coupure. Elle est *dissymétrique* (*fig.* 9) dans le cas contraire.

L'étude du résonateur à coupure conduit aux lois suivantes :

1° *Un résonateur à coupure symétrique présente les mêmes azimuts d'extinction ou de minimum d'effet qu'un résonateur complet.*

Qu'on ait affaire à un résonateur à coupure symétrique ou dissymétrique.

2° *Pour amener le micromètre dans l'azimut d'extinction ou de minimum d'effet, il faut amener le milieu de la coupure dans l'un des deux azimuts d'extinction ou de minimum d'effet que présenterait le micromètre, si le résonateur était complet.*

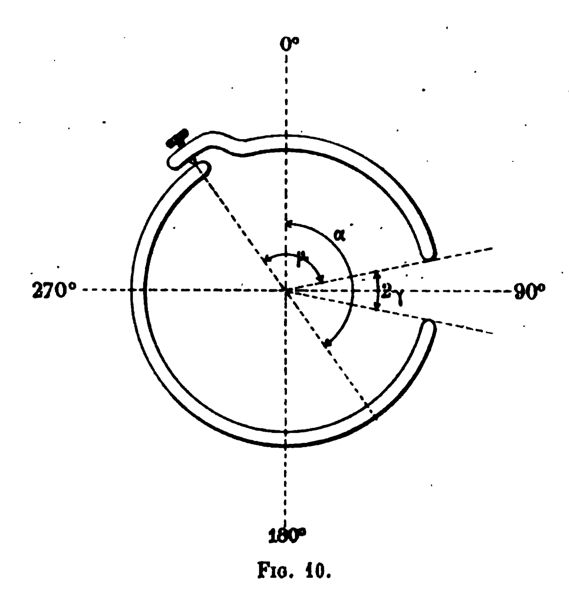


Fig. 10.

L'azimut α qu'occupe (*fig.* 10) le micromètre lors de l'extinction est :

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - (\mu + \gamma) \quad \text{ou} \quad \frac{3\pi}{2} - (\mu + \gamma).$$

Si la coupure est symétrique $\mu + \gamma = \pi$,

$$\alpha = -\frac{\pi}{2} \quad \text{ou} \quad \frac{\pi}{2} \text{ (1}^{\text{re}}\text{ loi).}$$

En ce qui concerne la détermination des sections nodales et ven-

trales que décèle un résonateur à coupure, on peut énoncer la loi suivante, que met en évidence le résonateur oblong S (voir *fig.* 8), dans lequel on a pratiqué une coupure.

3° *La position de la coupure détermine la position de la section ventrale* (*ou nodale*), *lorsque le résonateur résonne* (*ou est muet*).

Ces trois lois peuvent se résumer en un énoncé très simple :

Dans un résonateur à coupure, la coupure joue le rôle que joue le micromètre dans le résonateur complet.

4° *La différence entre la demi-longueur d'onde d'un résonateur complet et la demi-longueur d'onde d'un résonateur à coupure de même rayon, est sensiblement égale à la longueur de la coupure :*

$$\lambda - \lambda_c = 2c.$$

III

Étude comparative du champ hertzien dans l'air et dans les diélectriques. — Un résonateur de Hertz dont le plan est perpendiculaire à la direction des fils qui concentrent le champ (*position I*) décèle des sections alternativement nodales et ventrales bien déterminées. Le même résonateur met en évidence un système de nœuds et de ventres alternant avec le précédent, si l'on maintient le plan du résonateur dans le plan même des fils de concentration du champ (*position II*).

Que devient cette double série de sections alternativement nodales et ventrales, lorsqu'on change la nature du milieu entourant les deux fils tendus dans le champ ?

Pour résoudre cette question par une voie indépendante de toute théorie, il fallait disposer d'une assez grande quantité du diélectrique choisi pour y pouvoir baigner, sur une grande longueur, les deux fils concentrant le champ.

Dispositif. — Deux fils étaient tendus dans l'intérieur d'un réservoir, de 4 mètres de longueur, pouvant contenir 230 à 260 litres de liquide. Les fils, à leur sortie, sont tendus dans l'air sur une longueur de 3 mètres avant d'atteindre les plaques *a*, *a* de concentration du champ produit par l'excitateur E (*fig.* 11). Un résonateur *r* est placé entre le réservoir et l'excitateur, à une distance du réservoir égale au quart de la longueur d'onde λ des oscillations qui, dans l'air, excitent ce résonateur (la figure suppose le résonateur placé dans

la position I). Dans ces conditions, un pont mobile, placé au voisinage du résonateur, le rend muet; le même point, disposé contre la paroi même du réservoir, excite le résonateur. Pour empêcher une action gênante de l'excitateur, on dispose en avant du résonateur, entre l'appareil et l'excitateur, un point π, établi à une distance du résonateur égale à $\frac{\lambda}{4}$.

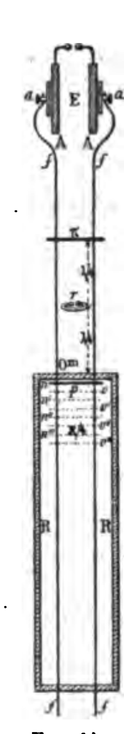


Fig. 11.

On constate, en déplaçant un pont mobile *p* dans le réservoir, que, pour la position I donnée au résonateur, dans la longueur qu'occupe une concomération, lorsque le réservoir est vide, s'étagent, dès qu'il est plein d'eau, sept à huit concomérations.

Lorsque le résonateur est dans la position II, le pont *p* déplacé dans le réservoir indique des concomérations égales, que le réservoir soit vide ou qu'il soit rempli de liquide.

Les lois expérimentales *immédiates* auxquelles l'étude de l'huile de pétrole et de l'eau nous a conduit s'expriment par les énoncés suivants :

1° *Les longueurs d'onde des oscillations qui, dans l'air, excitent un même résonateur placé soit dans la position I, soit dans la position II sont les mêmes :*

$$l_{\text{I}} = l_{\text{II}}.$$

2° *Les longueurs d'onde l_{II}, l'_{II} des oscillations qui excitent un résonateur de Hertz placé dans la position II sont les mêmes dans l'air et dans un diélectrique autre que l'air :*

$$l_{\text{II}} = l'_{\text{II}}.$$

3° *Pour les oscillations qui excitent le résonateur de Hertz dans la position I, le rapport de la longueur d'onde l_{I} dans l'air à la longueur d'onde l'_{I} dans un diélectrique autre que l'air est égal à la racine carrée du pouvoir inducteur spécifique du diélectrique par rapport à l'air :*

$$\frac{l_{\text{I}}}{l'_{\text{I}}} = \sqrt{\frac{K'}{K}}.$$

La première de ces lois est celle que nous avons trouvée dans l'étude du champ hertzien dans l'air. La deuxième loi est conforme aux déterminations faites par M. Blondlot au moyen de l'huile de ricin, si l'on admet que *le résonateur de M. Blondlot fonctionne comme un résonateur de Hertz placé dans la position II.* Nous avons vérifié cette hypothèse par une expérience directe. La troisième loi est conforme aux déterminations faites par MM. Cohn et Zeeman au moyen de l'eau, si l'on admet que *le résonateur de MM. Cohn et Zeeman fonctionne comme un résonateur de Hertz placé dans la position I;* nous avons également vérifié cette supposition par une expérience directe.

Les lois expérimentales que nous venons d'énoncer sont susceptibles d'une interprétation théorique plus complète que celle à laquelle conduisent les expériences sur les diélectriques qui ont précédé les nôtres.

Deux théories prévoient les lois de la propagation des oscillations électriques. Celle de Maxwell, qui suppose la propagation, au sein des diélectriques, de flux de déplacement *exclusivement* transversaux. Celle de Helmholtz, modifiée par M. Duhem, qui suppose la propagation dans les diélectriques de flux de déplacement transversaux et celle de flux de déplacement longitudinaux.

Si l'on désigne par U la vitesse de la lumière dans le vide, par v_0 la vitesse de propagation des flux transversaux dans le vide (pratiquement dans l'air;

Par v, v', la même vitesse dans deux diélectriques différents de pouvoir inducteur spécifique k, k';

Par V_0, la vitesse de propagation des flux longitudinaux dans le vide (et pratiquement dans l'air);

Par V, V', la même vitesse dans deux diélectriques différents :

Les lois *théoriques* qui se déduisent des hypothèses précédentes sont résumées dans le tableau suivant :

Lois de Maxwell $\begin{cases} v_0 = V \\ \dfrac{v}{v'} = \sqrt{\dfrac{K'}{K}}, \end{cases}$ Lois de Helmholtz-Duhem $\begin{cases} V = V_0 = U \\ v_0 = V_0 \\ \dfrac{v}{v'} = \sqrt{\dfrac{K'}{K}} \end{cases}$

Les lois expérimentales *immédiates* qui expriment les résultats des expériences de MM. L. Arons et H. Rubens, de MM. Cohn et Zeeman, de M. Blondlot, sont les suivantes :

$$\begin{pmatrix}\text{Arons et Rubens}\\ \text{Cohn et Zeeman}\end{pmatrix} \frac{l}{l'} = \sqrt{\frac{K}{K'}}; \qquad (\text{Blondlot})\ l = l',$$

l, l', désignant les longueurs d'onde des oscillations qui excitent un même résonateur disposé successivement dans deux diélectriques différents, sans présumer si ces longueurs d'onde se rapportent à des flux transversaux ou à des flux longitudinaux.

Ces lois expérimentales peuvent être indifféremment invoquées en faveur de la théorie de Maxwell ou en faveur de la théorie de Helmholtz suivant les hypothèses que l'on admet : 1° relativement à l'espèce d'ondulations (longitudinales ou transversales) que décèle le résonateur dans chaque expérience; 2° relativement à la période du résonateur.

Si λ et t désignent la longueur d'onde et la période des oscillations transversales, Λ et T celles des oscillations longitudinales, on a, pour deux diélectriques différents :

$$\begin{matrix}\lambda = vt \\ \lambda' = v't'\end{matrix} \qquad \text{ou} \qquad \begin{matrix}\Lambda = VT \\ \Lambda' = V'T'.\end{matrix}$$

Suivant que l'on fait les hypothèses :

$$l = \lambda \quad \text{et} \quad t = t' \qquad\qquad l = \Lambda \quad \text{et} \quad T = T'$$
$$l = \lambda \quad \text{et} \quad \frac{t}{t} = \sqrt{\frac{K'}{K}} \qquad \text{ou} \qquad l = \Lambda \quad \text{et} \quad \frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{K'}{K}}.$$

Les expériences de MM. Arons et Rubens, Cohn et Zeeman, d'une part, celles de M. Blondlot, d'autre part, confirment ou infirment l'une des deux théories en présence. De plus, les premières expériences semblent en contradiction avec les secondes, les premières vérifiant l'une des théories quand les secondes l'infirment, et inversement.

L'interprétation de nos propres expériences ne prête pas à une semblable ambiguité.

Notre dispositif, et c'est là son avantage sur ceux de MM. Cohn et Zeeman, de M. Blondlot, nous *oblige* à considérer la période du résonateur comme *indépendante de la nature du milieu qui le baigne*.

Dans ce dispositif, en effet, le résonateur demeure constamment placé dans l'air pendant que le pont mobile p est déplacé dans l'air et lorsque le pont mobile est déplacé dans le milieu étudié.

Nous devons donc admettre :

$$t = t' \qquad \text{ou} \qquad T = T'.$$

Les lois expérimentales que nous avons trouvées :

$$l_{\text{I}} = l_{\text{II}} \text{ (air)}, \qquad l = l'_{\text{II}}, \qquad \frac{l_{\text{I}}}{l'_{\text{II}}} = \sqrt{\frac{K'}{K}}$$

nous conduisent alors à écrire :

$$V_0 = v_0, \qquad V = V', \qquad \frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{K'}{K}},$$

conclusions qui s'accordent avec les lois de Helmholtz-Duhem, en admettant les seules hypothèses :

1° Le résonateur de Hertz dans la position I est sensible aux seuls flux transversaux ;

2° Le résonateur de Hertz dans la position II est sensible aux seuls flux longitudinaux.

Les gaz raréfiés sont-ils des électrolytes ?

Par M. E. Bouty [1].

1 — Pour étudier les propriétés électriques des gaz raréfiés, on a le plus souvent recours à des ampoules dans lesquelles pénètrent deux électrodes. Celles-ci sont mises en rapport avec une source à différence de potentiel constante ou alternative, et l'on observe les phénomènes de luminescence développés dans le gaz.

Les apparences observées dans ces conditions ne sont pas homogènes; les parties du gaz voisines des électrodes se comportent autrement que les parties éloignées. Il est évident que l'on doit obtenir des apparences plus simples, en supprimant les électrodes et en excitant la luminescence par des phénomènes d'induction.

C'est ce qu'a fait notamment M. J.-J. Thomson, dans un remarquable ensemble de recherches, résumées dans son livre : *Notes on Recent Researches in Electricity and Magnetism*, publié à Oxford en 1893 [2]. Le tube à gaz raréfié est placé à l'intérieur d'une courte spirale, traversée par la décharge oscillante d'une bouteille de Leyde. On voit dans le tube un anneau lumineux homogène particulièrement brillant, quand la pression du gaz est voisine de $\frac{1}{200}$ de millimètre.

Si l'ampoule à gaz raréfié est formée de deux parties concentriques, l'expérience peut être réglée de telle sorte que l'ampoule extérieure seule s'illumine; le gaz de l'ampoule extérieure fait fonction d'écran électrique, et l'induction dans l'ampoule centrale devient trop faible pour y provoquer la luminescence du gaz.

M. J.-J. Thomson interprète les phénomènes qu'il observe, en attribuant au gaz raréfié une conductivité propre d'ordre électrolytique. Pour évaluer cette conductivité, il substitue au gaz de l'ampoule extérieure une dissolution d'acide sulfurique par exemple, et il fait varier la concentration du liquide jusqu'à reproduire un écran électrique équivalent à l'écran constitué par le gaz. Il trouve, dans une de ces expériences, que l'acide sulfurique doit être pris au maximum de conductivité électrique. D'ailleurs, la conductivité ainsi

---

(1) Séance du 1er décembre 1899.
(2) Voir notamment les paragraphes 72 à 88, p. 92 à 105.

déterminée est une fonction de la pression qui passe par un maximum au voisinage de $\frac{1}{200}$ de millimètre de mercure.

Si, au lieu de rapporter la conductivité au volume, on la rapporte à la masse du gaz et qu'on calcule ainsi une conductivité spécifique, on trouve que les molécules du gaz au maximum de conductivité conduisent aussi bien que les molécules des métaux à l'état solide. Ainsi les gaz qui, à la pression ordinaire, sont les diélectriques types seraient susceptibles, par la *seule variation de la pression*, de devenir d'excellents conducteurs; cette altération si profonde de leurs propriétés serait attribuable à une *dissociation* ou à une *ionisation* de leurs molécules.

Si les gaz raréfiés sont d'excellents conducteurs, comment expliquera-t-on la difficulté très grande qu'éprouve la décharge à traverser un gaz raréfié dans un tube muni d'électrodes? On est réduit à invoquer une résistance spéciale, sans doute énorme, qu'éprouverait l'électricité pour passer d'un gaz dans un métal, ou inversement. M. J.-J. Thomson trouve en effet que, si l'on divise une ampoule à gaz en deux parties par un diaphragme métallique continu, deux anneaux lumineux aplatis se forment dans les deux portions de l'ampoule, le gaz restant obscur au voisinage immédiat du diaphragme: les apparences demeurent les mêmes, si l'on remplace le diaphragme métallique par un diaphragme de mica.

Tels sont les faits, excessivement curieux, révélés par les expériences de M. J.-J. Thomson. *Ils l'ont conduit à envisager les gaz raréfiés comme des électrolytes.*

Or tous les électrolytes étudiés jusqu'ici obéissent à la loi de Faraday. Si l'assimilation d'un gaz raréfié à un électrolyte est complète, un gaz composé soumis à l'action d'un nombre suffisant de décharges doit présenter à ses électrodes les produits normaux de sa décomposition électrolytique, et cela en quantités correspondantes à la quantité d'électricité qui l'a traversé.

M. Eilhard Wiedemann [1] a étudié, sous ce point de vue, d'abord l'acide chlorhydrique gazeux, puis les vapeurs de chlorure, bromure, iodure de mercure $HgCl^2$, $HgBr^2$, HgI^2. Avec ces trois derniers corps, notamment, il n'a trouvé aux électrodes que des quantités insignifiantes de produits de décomposition, à peine 3 ou 4 centièmes

---

[1] E. Wiedemann, *Ueber die electrolytische Leitung verdünnter Gase* (*Wied. Ann.*, t. LXI, p. 737; 1897).

des quantités prévues par la loi de Faraday. De plus, ces produits se présentaient presque indifféremment aux deux électrodes. On s'explique suffisamment leur présence, sans invoquer un phénomène d'électrolyse partielle, par l'effet des actions secondaires (thermiques par exemple) de la décharge. M. E. Wiedemann conclut très justement de ses recherches *qu'il est impossible de considérer un gaz raréfié comme un véritable électrolyte.*

J'ai été conduit aux mêmes conclusions par une voie absolument différente, en étudiant l'action produite par un champ électrostatique constant sur un gaz raréfié, renfermé dans une ampoule sans électrodes.

2. — Si, entre les électrodes d'un condensateur plan, on introduit un conducteur métallique isolé, on provoque un accroissement déterminé de la capacité du condensateur, soit, par exemple, 50 0/0. Des expériences préliminaires que je vais rapporter établissent que tous les électrolytes connus se comportent à cet égard comme des conducteurs métalliques. Une ampoule à gaz raréfié se comportera-t-elle de la même manière?

La nécessité d'introduire une telle ampoule entre les plateaux d'un condensateur, qu'il faudra parfois écarter l'un de l'autre de plusieurs centimètres, impose l'emploi de très faibles capacités, de l'ordre du cent-millième de microfarad, par exemple. Si l'on décharge une telle capacité sur un électromètre capillaire, dont la capacité est de l'ordre du demi-microfarad (au voisinage du zéro de l'électromètre), la différence de potentiel à laquelle sera porté l'appareil sera elle-même de l'ordre du cent-millième de la différence de potentiel initiale des armatures du condensateur. Or l'électromètre révèle aisément le dix-millième de volt; les mesures seront déjà possibles en chargeant le condensateur à quelques dizaines de volts; elles commenceront à devenir précises à partir d'une centaine de volts.

Cela posé, j'ai introduit entre les armatures d'un condensateur un ballon de verre soigneusement paraffiné à l'intérieur et à l'extérieur et plein d'air à la pression atmosphérique. Le ballon n'agit que par la masse diélectrique de ses parois, laquelle n'occupe qu'une très faible fraction du volume compris entre les plateaux. L'accroissement de capacité électrique correspondant peut cependant être rendu sensible à l'électromètre, en employant une différence de potentiel suffisante. Il ne dépasse pas, en général, 1 à 2 0/0 de la capacité électrique totale.

Le ballon peut être rempli successivement de mercure, d'une dis-

solution électrolytique, d'eau distillée, d'alcool absolu, de pétrole, etc. En ayant bien soin de renouveler à chaque fois le paraffinage interne pour supprimer toute conductivité superficielle antérieurement acquise, on constate que le ballon plein d'air produit toujours l'accroissement de capacité de 2 0/0, et que *le ballon plein de liquide produit toujours l'accroissement de* 50 0/0 constaté avec le mercure. Dans ces expériences, la charge et la décharge sont produites par un commutateur à main, et le condensateur peut rester en communication avec la source (accumulateurs) pendant plusieurs secondes. Les meilleurs diélectriques liquides se comportent alors, au point de vue de la charge des condensateurs, comme des conducteurs parfaits. Enfin la moindre trace d'humidité sur les parois internes ou externes du ballon se manifeste par un accroissement de capacité parfois aussi considérable, mais qui peut aussi prendre toutes les valeurs intermédiaires à 2 0/0 et à 50 0/0. Des expériences de cette espèce paraissent susceptibles de mettre en évidence des conductivités au moins cent fois plus faibles que celles des meilleurs diélectriques liquides.

3. — Assuré, par ces premières constatations, de la sensibilité de la méthode, j'ai fait usage de tubes à gaz raréfié ; j'ai eu recours d'abord à ceux qui se trouvaient sous ma main, lampes à incandescence, tubes de Crookes divers, radiomètre, etc. Malgré la présence de pièces métalliques isolées peu importantes, telles que la monture et le fil de charbon des lampes, les électrodes des tubes de Crookes, les ailettes du radiomètre, tous ces appareils soigneusement paraffinés à l'extérieur se sont comportés comme des ballons pleins d'air à la pression atmosphérique. Ils n'ont jamais provoqué d'accroissement de capacité de plus de 5 0/0. Des tubes de Crookes sans électrodes de formes diverses que je fis construire à cette occasion ne donnèrent que des accroissements de capacité de 1 à 2 0/0, et cela même quand je réduisais la distance des plateaux du condensateur à 2 centimètres et que la différence de potentiel s'élevait à 2.000 volts [1].

Ainsi il est impossible d'assigner au gaz raréfié des tubes de Crookes (pressions de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{500}$ de millimètre de mercure) non seulement une conductivité comparable à celle des dissolutions d'acide sulfurique, mais même une conductivité d'un ordre cent fois plus faible que celle du pétrole ou de l'essence de térébenthine rectifiés.

[1] Ces différences de potentiel étaient obtenues à l'aide d'une batterie de mille petits accumulateurs, construits à mon laboratoire même.

4. — Parmi les tubes étudiés se trouvaient accidentellement deux tubes de Geissler (pressions de l'ordre du millimètre de mercure). Tant que le champ électrostatique employé n'atteignait pas une certaine valeur minimum C (de 300 volts par centimètre par exemple), ces tubes se comportaient comme les tubes de Crookes, c'est-à-dire comme des ballons pleins d'air à la pression atmosphérique ; mais, pour des valeurs du champ notablement supérieures à C, ils équivalaient à des ballons pleins de mercure : on passait sans transition appréciable d'un accroissement de capacité de 2 0/0 à un accroissement de 50 0/0.

Pour un champ égal à C, on observait indifféremment tantôt l'accroissement de 2 0/0 et tantôt celui de 50 0/0, suivant des circonstances accessoires non encore étudiées, mais très probablement analogues à celles qui font que l'étincelle éclate ou n'éclate pas entre deux boules placées dans l'air à une distance invariable, quand la différence de potentiel maintenue entre ces deux boules est très voisine de sa valeur limite.

J'ai substitué aux tubes de Geissler des tubes sans électrodes, montés directement sur une machine pneumatique à mercure, et j'ai fait varier la pression de 5 millimètres à $0^{mm},2$, par exemple. J'ai toujours retrouvé les mêmes phénomènes. Pour chaque valeur assignée à la pression, il y a, pour l'intensité du champ, une limite C fonction de la pression, et telle que, pour tout champ inférieur, le gaz se comporte comme un diélectrique parfait, que pour tout champ supérieur il se comporte comme un conducteur.

Il est clair que, dans notre expérience, rien n'a été modifié au contact des plateaux métalliques du condensateur, toujours baignés par l'air à la pression atmosphérique. La variation discontinue que nous observons ne peut avoir son origine dans la couche de contact gaz-métal ; elle appartient bien en propre à la masse gazeuse isolée dans l'ampoule de verre.

Si l'on se place dans l'obscurité absolue et qu'on y accoutume son œil, on reconnaît que, dans les champs élevés où le gaz paraît conduire, le tube sans électrodes s'illumine soudainement aussi bien à l'instant de la charge du condensateur qu'à l'instant de la décharge. Dans les champs faibles pour lesquels le gaz isole, le tube demeure invariablement obscur. *La conductivité apparente du gaz raréfié est donc essentiellement liée à sa luminescence. Le gaz s'illumine chaque fois qu'il livre passage à de l'électricité.*

5. — J'insisterai sur ce fait que, d'après les observations précédentes, il est impossible d'assimiler un gaz raréfié à aucun électrolyte connu.

J'ai en effet montré, il y a bien longtemps (1), qu'un électrolyte n'a qu'une seule manière d'être au point de vue de sa conductivité, c'est-à-dire au point de vue de la propriété qu'il possède de livrer passage à l'électricité. Quelque faible que soit la force électromotrice appliquée en un point d'une masse électrolytique, ou (quand on ne fait pas usage de l'induction) quelque faible que soit la différence de potentiel établie entre deux plans au sein du liquide, la conductivité demeure invariable et persiste toujours identique à elle-même. Il est impossible d'assigner au champ une limite C, si faible soit-elle, au-dessous de laquelle un électrolyte cesserait de conduire.

Nous voyons, d'ailleurs, que la conductivité apparente d'un gaz raréfié est liée à un phénomène essentiellement brusque et violent, qui succède sans transition aux phénomènes de l'équilibre diélectrique, comme la rupture d'un fil tendu succède à son équilibre élastique, dès que le poids tenseur dépasse une certaine limite. Sous l'action d'un champ électrique suffisamment puissant, le gaz se déchire, comme un carton ou une lame de verre se perce ; mais, en vertu de son homogénéité plus grande, le gaz cède à la fois en un très grand nombre de points de sa masse, et il s'illumine non sur un trajet précis et relativement étroit, comme cela a lieu, à la pression ordinaire, entre des électrodes métalliques, mais sur un trajet diffus qui paraît envelopper toute la masse. Au fond, il ne semble y avoir aucune différence essentielle entre la décharge qui éclate dans l'intervalle de deux électrodes métalliques et le phénomène de l'illumination des tubes sans électrodes que nous étudions en ce moment.

De même que la charge de rupture permet d'évaluer la cohésion qui retenait en présence les deux portions contiguës d'un même fil que l'on est parvenu à séparer, de même aussi le champ minimum nécessaire pour rompre l'équilibre diélectrique d'un gaz mesure ce que nous appellerons sa *cohésion diélectrique*. L'éther, c'est-à-dire le vide absolu, possède une *élasticité diélectrique* parfaite. Nous ne pouvons vaincre sa cohésion diélectrique et le faire traverser par des décharges. Mais les molécules gazeuses y introduisent des points faibles et la cohésion diélectrique devient désormais mesurable. Je me suis proposé de déterminer comment cette cohésion dépend de la

(1) Bouty, *Sur la polarisation des électrodes et la conductibilité des liquides* (*Journal de Physique*, 2e série, t. I, p. 346-364 ; 1882).

nature du gaz, de sa pression et des diverses circonstances accessoires de l'expérience. Je n'entrerai ici dans aucun détail sur ce travail encore en cours d'exécution et dont les premiers résultats ont été publiés ailleurs ([1]).

6. — Je me bornerai à fixer les points de vue divers sous lesquels peut être faite désormais l'étude rationnelle des propriétés électriques d'un gaz.

1° Dans les champs électriques inférieurs à la valeur critique signalée ci-dessus, on étudiera l'équilibre diélectrique, lequel sera déterminé par la connaissance d'une ou de plusieurs constantes caractéristiques du gaz (constante diélectrique, sa variation avec la pression, la température, etc.);

2° Dans des champs supérieurs à la valeur critique, on étudiera, soit les modifications internes éprouvées par le gaz sous l'action des décharges [nature et quantité des produits de décomposition (Eilhard Wiedemann), polymérisation, dissociation; température atteinte, qualité et intensité des radiations émises], soit le champ électro-magnétique produit par les décharges, ou, ce qui revient au même, l'intensité moyenne des courants équivalents à ces décharges (effets d'écrans électriques, J.-J. Thomson). En ce sens, mais en ce sens seulement, on sera en droit de parler d'*une conductivité spécifique fictive du gaz*. Ce serait la conductivité d'un milieu électrolytique ou métallique occupant le volume du gaz, soumis aux mêmes actions électriques et tel qu'il livre passage par conduction aux mêmes quantités moyennes d'électricité que les décharges effectives transportent. Cette notion, la seule que l'on soit rigoureusement en droit d'introduire pour interpréter les expériences de J.-J. Thomson, ne préjuge nullement le mécanisme intime de la décharge, et l'on demeure libre de le considérer ou de ne pas le considérer comme analogue à celui de la conductivité électrolytique;

3° Enfin on peut chercher à déterminer la limite entre les phénomènes opposés produits dans un même gaz par les champs faibles et par les champs intenses. C'est à cet ordre de recherches qu'il faut rapporter les mesures de la différence de potentiel minimum nécessaire pour produire une étincelle entre deux électrodes métalliques placées dans l'air à diverses pressions, et c'est aussi dans cet ordre d'idées que je dirige mes recherches actuelles sur les lois de la cohésion diélectrique des gaz.

([1]) Voir *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CXXXIX, p. 204; 24 juillet 1899.

Nouvelle méthode de mesure des durées infinitésimales. — Application à la disparition de la biréfringence électro-optique et de la polarisation rotatoire magnétique ;

Par MM. H. ABRAHAM et J. LEMOINE [1].

Les temps que nous envisagerons étant toujours de l'ordre du *cent-millionième de seconde*, nous représenterons, pour la commodité de l'écriture, le *millionième de seconde* par le symbole μS.

Il est nécessaire de montrer d'abord que les procédés usuels pour l'étude des phénomènes de très courte durée se trouvent en défaut quand il s'agit, par exemple, de déceler une durée de $\frac{1}{1000}$ de μS.

La photographie sur plaque mobile est absolument insuffisante. En admettant même que l'on puisse faire porter la plaque par un boulet de canon animé d'une vitesse de 1.000 mètres à la seconde, le déplacement ne serait que de 1 micron en $\frac{1}{1000}$ de μS.

La méthode du miroir tournant, qui dépasse actuellement toutes les autres, n'atteint que bien difficilement cette limite. Prenons comme exemple le miroir qui a été employé par Foucault dans ses célèbres expériences sur la vitesse de la lumière. Il faisait 800 tours à la seconde. Le rayon réfléchi, qui en faisait 1.600, avançait de 2″ d'angle en $\frac{1}{1000}$ de μS. Mais, ce miroir n'ayant que 14 millimètres de diamètre, il ne pouvait séparer que les 10″. Le $\frac{1}{1000}$ de μS se trouve donc encore au-dessous de ce que l'on pourrait déceler, mais non mesurer avec quelque précision au moyen du miroir de Foucault.

A vrai dire, on pourrait réaliser une plus grande vitesse de rotation, tout en employant un miroir de plus grand diamètre ; mais il semble impossible, actuellement, d'obtenir une sensibilité 10 fois plus grande qu'avec le miroir de Foucault.

La méthode que nous allons exposer repose sur un principe entièrement différent, qui est le suivant :

Une durée infinitésimale peut être déterminée par la mesure de l'espace que parcourt la lumière pendant cette durée elle-même.

---

(1) Séance du 3 novembre 1899.

Si l'on veut encore mesurer le $\frac{1}{1000}$ de μS, l'espace que devra parcourir la lumière est de 30 centimètres, il peut se déterminer avec une extrême précision; il n'y a, pour ainsi dire, aucune limite à la sensibilité de la méthode. C'est, d'ailleurs, ainsi que la mesure des longueurs d'onde fournit déjà la durée des vibrations lumineuses, qui n'est pourtant que d'un cinq cent millionième de μS.

Pour préciser la mise en œuvre de la méthode, nous allons l'appliquer à l'étude de l'extinction du phénomène de Kerr et de la polarisation rotatoire magnétique.

ÉTUDE DE LA DISPARITION RAPIDE DU PHÉNOMÈNE DE KERR.

Pour produire le phénomène de Kerr, nous employons le condensateur plan K (*fig.* 1), formé de deux lames de cuivre parallèles, im-

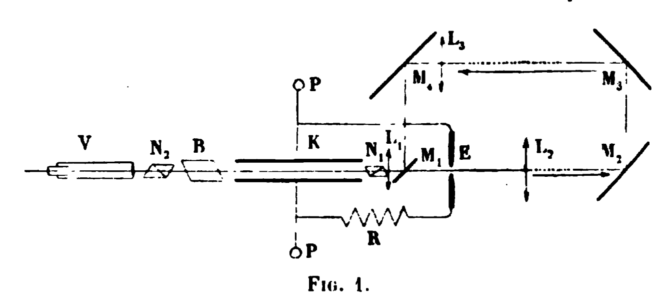


Fig. 1.

mergées dans une cuve remplie de sulfure de carbone. Pour charger le condensateur, on le met en communication avec les pôles P d'un transformateur à haut voltage. Le condensateur se décharge en E, dans un déflagrateur auquel il est réuni par un circuit très court (longueur, 124 centimètres), coupé en R par une résistance liquide. Ces dispositions sont choisies dans le but d'obtenir une décharge très amortie.

L'étincelle E, fractionnée par le soufflage [1], est très éclatante et sert de source lumineuse. Elle est placée au foyer d'une première lentille L_1, qui fournit un faisceau cylindrique traversant la cuve. La distance de l'étincelle au milieu de la cuve est de 20 centimètres,

[1] Voir p. 70.

c'est-à-dire que le flux lumineux traverse la cuve $\frac{1}{1500}$ de μS seulement après la production de l'étincelle.

D'autre part, E se trouve encore placée au foyer de la lentille L_2. Le faisceau cylindrique qui sort de cette lentille est envoyé en arrière à une distance variable à volonté, puis ramené vers la cuve au moyen des miroirs M_2, M_3. La lentille L_3 reçoit ce faisceau de retour et les miroirs M_1, M_1, le font pénétrer dans la cuve.

La mesure optique est faite par la méthode photométrique. A cet effet la cuve de sulfure de carbone se trouve placée entre un nicol polariseur N_1, incliné à 45° sur les faces du condensateur et un analyseur formé d'un biréfringent B et d'un nicol N_2 à l'extinction. Pour mesurer la biréfringence, on amène à l'égalité les deux images que l'on observe avec le viseur V. La rotation du nicol mesure la différence de phase moyenne pendant le passage de la lumière dans le condensateur de Kerr.

Pour simplifier le raisonnement, supposons, pour un moment, que l'étincelle soit exactement instantanée. Si le miroir M_1 est écarté latéralement, l'ouverture de la cuve est démasquée, et la mesure de la biréfringence donnera la valeur du phénomène de Kerr, presque à l'instant de l'étincelle.

Remettons le miroir M_1 en place, la lumière de l'étincelle part dans une direction opposée à celle de la cuve et se trouve ensuite renvoyée vers celle-ci par les miroirs M. Le flux lumineux arrive donc dans le sulfure de carbone après avoir parcouru le chemin supplémentaire $EM_2M_3M_4E$, que nous faisons varier à volonté en éloignant ou rapprochant l'ensemble des deux miroirs M_2M_3. Si l'espace parcouru ainsi est de 3 mètres, nous obtiendrons une nouvelle valeur de la biréfringence, après un intervalle de temps égal à $\frac{1}{100}$ de μS. En écartant progressivement M_2M_3, on obtiendra des points aussi rapprochés que l'on voudra de la courbe du phénomène de Kerr en fonction du temps.

Nous avons opéré, par cette méthode, dans des conditions très variées ; mais nous ne citerons ici que les résultats d'une seule expérience, correspondant à la décharge la plus rapide.

Chemin parcouru.	Biréfringence.
20 centimètres	17°,3
100 centimètres	8°,7
400 centimètres et au-delà	non mesurable

La comparaison de ces mesures montre que le phénomène électro-optique est réduit de moitié, au bout d'un temps correspondant à un retard de 80 centimètres et, par suite, égal à $\frac{1}{400}$ de μS. Après $\frac{1}{100}$ de μS, la biréfringence a disparu.

Pour interpréter correctement l'expérience, représentons par la courbe C_1 la variation du champ électrique dans le condensateur et par C_2 la variation de l'intensité lumineuse de l'étincelle en fonction du temps. Dans la première mesure, ces deux courbes empiètent nettement l'une sur l'autre (*fig.* 2). Quand on retarde le flux lumineux,

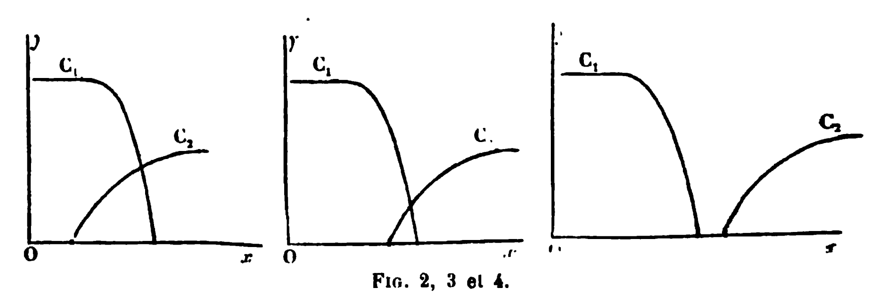


Fig. 2, 3 et 4.

la courbe C_2 se déplace progressivement vers la droite et, lors de la deuxième mesure (*fig.* 3), les deux courbes n'ont plus qu'une faible portion commune. Enfin, à partir de la troisième lecture, elles sont extérieures l'une à l'autre (*fig.* 4).

Le temps égal à $\frac{1}{100}$ de μS, après lequel on a toujours l'extinction, est donc le retard qui fait sortir la courbe C_2 de C_1.

Il est clair alors que ce $\frac{1}{100}$ de μS comprend à la fois :

1° Le temps que met l'intensité lumineuse de l'étincelle à s'établir ;

2° Le temps que le champ électrique met à disparaître ;

3° Le retard possible du phénomène de Kerr sur le champ électrique.

D'où nous concluons que chacun de ces phénomènes pris séparément ne dure pas $\frac{1}{100}$ de μS (1).

---

(1) Nous insisterons sur ce que le succès des expériences tient en grande partie à ce fait très remarquable que l'intensité lumineuse de l'étincelle, partant

ÉTUDE DE LA DISPARITION RAPIDE DE LA POLARISATION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE.

Nous avons appliqué la méthode et utilisé le même appareil (*fig.* 5).

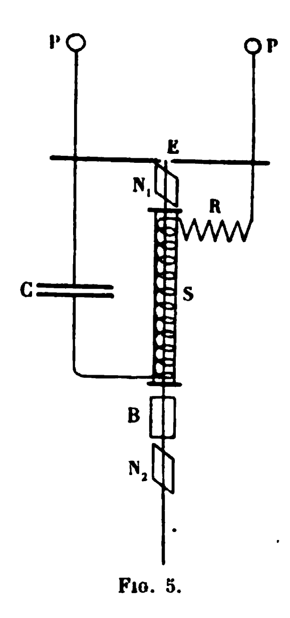


Fig. 5.

Un condensateur auxiliaire C, formé d'une lame de verre étamée, est réuni, aux tiges du déflagrateur E, par un circuit qui comprend une résistance liquide R et un solénoïde S, formé de 25 spires enroulées sur un tube rempli de sulfure de carbone. Ce tube était placé entre le polariseur N_1 et l'analyseur BN_2. Les lentilles et miroirs du dispositif précédent sont conservées, mais ne sont plus représentées dans la figure actuelle.

Dans l'intervalle de deux étincelles successives, le courant de charge du condensateur est trop faible pour produire une polarisation rotatoire sensible. Pendant l'étincelle, au contraire, il se produit un courant de grande intensité, qui communique au sulfure de carbone une polarisation rotatoire mesurable.

---

de zéro, arrive presque à son maximum en une très petite fraction de μS; autrement dit, à ce que le flux d'ondes lumineuses qu'elle émet présente un *front* nettement accusé.

La marche des expériences est en tout point la même que pour le phénomène de Kerr. En nous plaçant également dans les meilleures conditions d'amortissement, nous avons trouvé :

Chemin parcouru.	Polarisation rotatoire.
0m,20	4°,5
2m,60	2°,3

Au-delà de 6 mètres, le phénomène n'est plus appréciable, et il ne reste que la légère dépolarisation produite par le tube à sulfure de carbone.

Dans cette dernière expérience, *la polarisation rotatoire magnétique diminue de moitié en* $\frac{1}{100}$ *de* μS, *et elle est presque nulle après un temps double.*

Ce temps comprend encore la durée d'établissement de l'étincelle, la durée de la décharge et le retard possible de la polarisation rotatoire sur le courant.

Nous pouvons donc affirmer que *la polarisation rotatoire magnétique n'a pas un cent millionnième de seconde de retard sur le courant.*

Cette limite est moins bonne que celle trouvée pour le phénomène de Kerr. Mais le solénoïde S, que l'on est bien forcé d'accepter ici, augmente la durée de la décharge. Nous avons vérifié expérimentalement qu'en intercalant ce même solénoïde dans le circuit de décharge d'un condensateur de Kerr on trouvait le même amortissement pour les deux mesures électro-optiques.

Cette dernière coïncidence est un nouvel argument en faveur de cette hypothèse que *la polarisation rotatoire magnétique et le phénomène de Kerr suivent, sans aucun retard, les variations de la décharge.*

Rappelons, en terminant, que dans des travaux publiés dans ce journal MM. Bichat et Blondlot avaient pu établir autrefois, par une méthode de miroir tournant, que le retard de ces deux phénomènes électro-optiques sur le phénomène électrique défini par l'étincelle ne pouvait être que très faible et ne dépassait certainement pas $\frac{1}{30.000}$ de seconde. La méthode actuelle recule considérablement cette limite.

GÉNÉRALITÉ DE LA MÉTHODE.

Les procédés que nous venons d'exposer sont évidemment susceptibles d'être utilisés pour l'analyse d'un assez grand nombre de phénomènes à variations très rapides.

Établissement rapide du phénomène de Kerr et de la polarisation rotatoire magnétique. — On réalise un établissement brusque des phénomènes électro-optiques, en les excitant au moyen d'une onde hertzienne, provoquée par l'étincelle même dont la lumière sert à étudier les phénomènes à des époques successives.

Analyse des ondes électriques. — L'étude d'une onde électrique se propageant le long d'un fil peut également se faire par l'intermédiaire d'un phénomène électro-optique. Les méthodes précédentes permettront d'obtenir la forme de l'onde et de démontrer directement l'égalité de vitesse des ondes lumineuses et des ondes électriques.

Étude des étincelles. — L'étincelle d'un excitateur ou d'un résonateur peuvent servir indifféremment de sources lumineuses et être appliquées à l'analyse d'une même onde électrique. L'interprétation des résultats fournit des renseignements sur l'intervalle de temps qui sépare les deux étincelles, ainsi que sur leurs durées et leurs variations d'éclat.

En dehors de ces phénomènes, qui se tiennent d'ailleurs de façon étroite, les mêmes méthodes s'appliqueront plus généralement à tous les phénomènes de courte durée qui peuvent être reliés à la production d'une étincelle électrique ; sans insister sur les expériences de phosphorescence, nous en avons une application immédiate à la détermination de la vitesse de propagation et de l'époque exacte à laquelle se produisent les rayons d'origine cathodique dont l'étude toute récente a déjà fait de si grands progrès (1).

(1) Depuis la première publication de nos expériences, M. Bernard Brunhes a entrepris de déterminer, par cette méthode, la vitesse de propagation des rayons de Röntgen.

Théorie nouvelle de la transmission de la lumière dans les milieux en repos ou en mouvement (1);

Par M. G. Sagnac.

I. — Hypothèses et conséquences générales.

Je considère les vibrations lumineuses à l'intérieur d'un corps comme s'y propageant par l'intermédiaire d'un *milieu identique à l'éther du vide*. Je ne suppose pas que la présence des particules matérielles altère les propriétés optiques de l'éther du vide qui les baigne. Mais je fais intervenir directement la *discontinuité de la matière :*

Chaque particule ou atome du corps renvoie en tous sens une certaine proportion des vibrations qui l'abordent. Cette *réflexion-diffraction* des vibrations lumineuses par une particule matérielle peut être *comparée* à la *réflexion-diffraction* de vibrations électriques de Hertz par un petit corps *conducteur* plongé dans le vide, de dimensions très petites vis-à-vis des longueurs d'onde des vibrations électriques incidentes.

Je me réserve de préciser le mécanisme de l'action des particules matérielles à mesure que les problèmes étudiés l'exigeront. Je vais montrer ici que, sous la forme *cinématique* indéterminée, que je tiens à leur laisser pour le moment, les hypothèses faites suffisent à rendre compte, dans leur partie essentielle, des *phénomènes optiques dits d'entraînement de l'éther*, ordinairement regardés comme une sorte d'*experimentum crucis*. J'insisterai sur le remarquable phénomène d'*entraînement des ondes lumineuses par la matière*, découvert en 1851 par Fizeau. Pour rattacher cette théorie, surtout cinématique, de l'entraînement de l'éther à mes hypothèses fondamentales, il me suffira d'indiquer, dans ce qu'il a d'essentiel, le mécanisme de la *propagation de la lumière à travers les corps*, tel qu'il résulte de ma manière de voir.

Propagation rectiligne. — Une suite indéfinie d'ondes *planes*, arrivant *parallèlement* à la surface *plane* d'un corps *transparent*, donne, en vertu du principe d'Huygens-Fresnel, le résultat suivant :

Bien que *chaque* particule réfléchisse et diffracte *en tous sens* les

(1) Cette théorie a été exposée brièvement dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* du 13 et du 20 novembre 1899, et, telle qu'elle est exposée ici, dans la séance du 17 novembre 1899 de la Société française de Physique.

vibrations lumineuses qui l'abordent, l'*ensemble* des particules du corps ne diffracte pas *sensiblement* la lumière en dehors de la normale à la face d'entrée ; ce résultat n'est d'ailleurs qu'*approché ;* car il y a un nombre *limité* de molécules du corps dans un petit cube ayant pour côté la longueur d'onde λ de la lumière incidente. Réellement il doit y avoir *diffraction* en tous sens d'un faisceau de lumière à travers la matière, et d'autant plus que la longueur d'onde est plus petite. Mais déjà, pour les vibrations lumineuses du spectre visible et pour un corps tel que le verre, l'eau, il y a quelque $(1.000)^3$ molécules dans un petit cube de la substance construit sur la longueur d'onde pour côté, et la presque totalité du faisceau lumineux est réfléchie, ou est transmise, sans diffraction appréciable, avec les épaisseurs de milieu pratiquement employées. En dehors de la direction normale à la face d'entrée S, les vibrations envoyées par les diverses particules interfèrent alors de manière à se détruire dans leur ensemble *presque* aussi exactement que les vibrations, envoyées en tous sens par chacun des éléments d'une onde plane, librement transmises dans le vide et limitées à l'étendue S, se détruisent mutuellement en dehors de la direction normale à l'onde. Cela étant, il ne peut y avoir de lumière renvoyée par les particules que suivant la normale, soit en sens inverse de la lumière incidente (lumière réfléchie), soit dans le même sens (lumière transmise). Ces deux faisceaux existent bien ; chaque couche de particules sépare en effet les vibrations qui l'abordent en vibrations transmises et vibrations réfléchies. La même subdivision se poursuit par transmissions et réflexions sur les diverses couches de particules. Toutes les vibrations qui ont subi un nombre *impair* de ces réflexions élémentaires reviennent à la surface d'entrée. La résultante de ces vibrations impaires, définie par la *règle de Fresnel*, est, dans ma manière de voir, la *vibration réfléchie* par la surface du corps.

Transmission. — Une vibration qui subit un nombre *pair* de réflexions élémentaires est, au contraire, ramenée vers l'intérieur du milieu profond. Il y a un nombre théoriquement infini de pareilles *vibrations élémentaires paires* se propageant dans l'éther du vide, mais par allées et venues entre les particules qui les réfléchissent. La résultante de ces vibrations, définie par la *règle de Fresnel*, est, dans ma manière de voir, la vibration *transmise* par le milieu.

Dans les *corps absorbants* interviennent à la fois les changements de phase (retards), dus à la propagation des vibrations élémen-

taires dans l'éther du vide d'une particule à une autre, et les *changements de phase par réflexion sur les particules* absorbantes (¹). Mais, dans le cas des corps très transparents, cette dernière influence est très faible, et la valeur de la vitesse de propagation dans le milieu dépend simplement des *retards* éprouvés par les vibrations élémentaires, en se propageant par allées et venues d'une particule à l'autre. Ces retards croissent avec le nombre de réflexions sur les particules par quantités comparables au double de la distance moyenne des particules (²), donc par très petites fractions de longueur d'onde, c'est-à-dire d'une manière *presque continue*. De là il résulte encore que les vibrations ne sont pas sensiblement disséminées en dehors de la direction normale à la face d'entrée; dans le calcul on peut, en général, transformer en intégrale la série qui définit la phase de la vibration transmise; dans un corps très transparent, cette phase est toujours en *retard* sur celle de la vibration transmise librement dans le vide; autrement dit la lumière s'y propage *plus lentement* que dans le vide (³).

II. — Théorie du phénomène d'entraînement des ondes de Fizeau.

Fizeau a montré, en 1851, que, si la lumière se propage de O en S (*fig.* 1), dans un tube *fixe* OS plein d'eau en mouvement, que l'on fait entrer en O et sortir en S par des ajutages latéraux, la lumière se pro-

---

(¹) Pour l'*influence de l'absorption élective* et la *théorie de la dispersion anomale* voir ci-après : paragraphe II, remarque 2, note (1) B du bas de la page 9.

(²) Ils ne croissent pas, d'ailleurs, exactement de la distance parcourue dans l'éther du vide : les particules émettent des vibrations forcées de types différents et de phases différentes; celles qui varient d'amplitude en raison inverse de la distance sont faibles vis-à-vis de celles qui varient en raison inverse du carré de la distance, et celles-ci le sont à leur tour vis-à-vis des vibrations variant en raison inverse du cube de la distance; le rôle de ces divers types de vibrations simultanées est capital dans les phénomènes de *dispersion*.

(³) A mesure qu'on s'enfonce à l'intérieur du milieu, le retard de cette vibration résultante varie, mais de plus en plus rapidement, et la vitesse *moyenne* de propagation ne prend sensiblement une valeur définitive qu'au-dessous d'une zone efficace d'épaisseur ε, inférieure, il est vrai, à la longueur d'onde, comme j'aurai l'occasion de le démontrer une autre fois. Au-dessous de la profondeur ε, un même accroissement e de l'épaisseur traversée correspond simplement à un même retard r de la vibration transmise; $n = \frac{r}{e}$ est l'indice de réfraction du milieu; si V_0 est la vitesse d'une onde plane dans le vide, $\frac{V_0}{n}$ est la vitesse d'une onde plane dans le milieu profond.

page dans cette eau, qui fuit devant elle, un peu plus rapidement que dans l'eau en repos ; sa vitesse est augmentée des 7/16 de la vitesse de l'eau, conformément à la *théorie dynamique* donnée en 1818 par

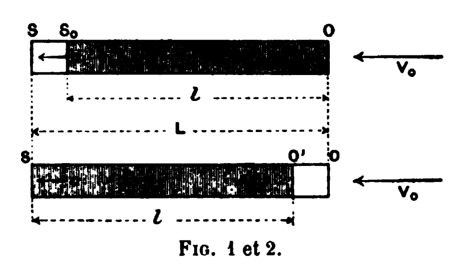


Fig. 1 et 2.

Fresnel[1]. Dans ma manière de voir, la notion simple n'est pas celle de *vitesse* de propagation ; il ne faut pas considérer les ondes comme *entraînées* par le mouvement de l'eau. La notion simple est celle de *durée de propagation ;* je considère la diminution de durée de propagation ou l'*effet Fizeau* comme le résultat de *deux effets simultanés :*

1° *Effet de masse.* — Pendant que la lumière parcourt la longueur L du tube fixe OS (*fig.* 1), une petite colonne d'eau S_0S s'écoule hors du tube. Le temps T' employé par la lumière pour parcourir, de O en S, la longueur L du tube *fixe* plein d'eau en mouvement, est donc égal au temps employé par la lumière pour parcourir la longueur l de la colonne *mobile* d'eau qui, d'abord en OS_0 (*fig.* 1), se transporte en O'S (*fig.* 2) pendant que la lumière se propage de O en S. Le nombre de couches de particules réellement traversées de O en S par la lumière est donc diminué de la fraction $\frac{S_0S}{OS}$ de sa valeur. Cette *réduction de la masse utile* de l'eau produit une égale réduction de la durée T de propagation de O en S. Si V est la vitesse de propagation dans l'eau en repos, on peut remplacer $\frac{S_0S}{OS}$ par $\frac{v}{V}$ et la valeur de l'effet de masse est la diminution de durée de propagation [2] $T\frac{v}{V}$, c'est-à-dire $\frac{Lv}{V^2}$.

2° *Effet de mouvement.* — Après avoir tenu compte du *raccour-*

(1) Fresnel, *Ann. de Ch. et de Phys.*, t. XI, p. 57 ; 1898.

(2) Dans tout ceci on néglige les quantités du second ordre, qui sont, dans l'expérience de Fizeau, inférieures à la fraction 10^{-7} de l'effet principal.

cissement de la colonne utile, il faut tenir compte de l'*état de mouvement* de cette colonne l, qui se meut avec la vitesse v par rapport au tube OS. Il faut chercher de combien varie la durée de propagation de la lumière d'une extrémité à l'autre d'un cylindre de matière de longueur l quand ce cylindre fuit devant la lumière avec la vitesse v par rapport à l'éther du vide ([1]).

Je rappelle que la vibration lumineuse transmise à l'extrémité S_0 de la colonne OS_0 (*fig.* 3) est définie, dans ma manière de voir, comme la résultante d'un nombre théoriquement infini de *vibrations élémentaires* transmises par l'*éther du vide* et retardées par allées et venues entre les particules qui les réfléchissent. Soit une vibration élémentaire quelconque, caractérisée par les réflexions sur des couches de particules en $r_1, r_2, \ldots, r_{2j-1}, r_{2j}, \ldots, r_{2p}$. Les différents segments $Or_1, r_1r_2, \ldots, r_{2p}S_0$, qui, pour plus de clarté, sont représentés séparés sur la figure 3, représentent les allées et venues des vibrations élémentaires.

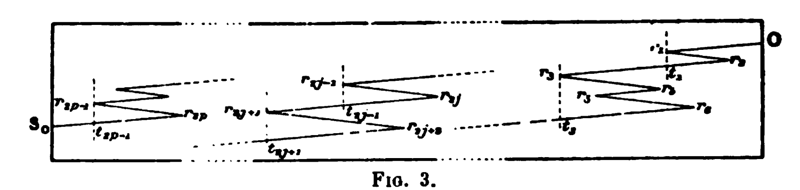


Fig. 3.

Considérons les durées de parcours des différents trajets doubles, tels que $r_1r_2t_1, \ldots, r_{2j-1}\,r_{2j}t_{2j-1}, \ldots$, mesurés dans la colonne mobile, qui sont composés de deux trajets égaux et de sens inverses. Pendant que la vibration élémentaire se propage dans l'éther du vide de r_{2j-1} à r_{2j}, la particule r_{2j} s'est avancée au-devant de la vibration et a raccourci le chemin parcouru dans l'éther par la vibration et, par suite, la durée de propagation correspondante d'une fraction f de sa valeur, du même ordre que $\frac{v}{V_0}$ (la vitesse de la lumière dans le vide étant V_0). Inversement, pendant que la vibration revient de r_{2j} en t_{2j-1}, le point t_{2j-1}, invariablement lié au milieu, a fui devant la vibration et a allongé la durée de propagation de la vibration dans l'éther d'une

([1]) Il est facile de voir que, dans le dispositif de Fizeau, rigoureusement rien ne pourrait être changé au résultat si la terre était immobile par rapport à l'éther, à cause de l'emploi de deux faisceaux lumineux interférents de trajets exactement inverses l'un de l'autre.

fraction de sa valeur, qui est égale à f, aux quantités près de l'ordre de $\frac{v^2}{V_0^2}$. Donc, à cette approximation, la durée de parcours d'un trajet double $r_1r_2t_1, \ldots, r_{2j-1}r_{2j}t_{2j-1}, \ldots$ n'est pas altérée par le mouvement de la colonne OS_0. Il en est de même pour un trajet multiple d'aller et retour, tels que $r_3r_4r_5r_6t_3$. Or, si l'on met à part tous les trajets doubles ou multiples, ainsi composés de parties symétriques deux à deux, il reste une série de segments directs :

$$Or_1, \quad t_1r_3, \quad t_3r_7, \quad \ldots, \quad t_{2j-1}r_{2j+1}, \quad \ldots, \quad t_{2p-1}S_0.$$

La réunion de ces segments forme exactement la longueur l de la colonne en mouvement, et ces différents tronçons sont parcourus dans l'*éther du vide*, avec la même vitesse que si les particules du milieu isotrope étaient absentes. L'influence du mouvement de la colonne OS_0 est donc la même que si l'intérieur du cylindre OS_0 était *vide de toute matière*. Cela est vrai pour chaque vibration élémentaire et, par suite, pour leur résultante en S_0, qui est la vibration lumineuse transmise par le cylindre de matière. Or la durée de propagation de la lumière d'une extrémité à l'autre d'un cylindre de longueur l vide de toute matière serait $\frac{l}{V}$ dans le cas où le cylindre serait immobile par rapport à l'éther, et *s'allongerait* de $\frac{lv}{V_0^2}$ ou $\frac{Lv}{V^2}$ (au second ordre près) dans le cas où le cylindre fuirait devant la lumière avec la vitesse v. Telle est donc aussi la valeur de l'*effet de mouvement*.

La valeur de l'effet Fizeau est donc la diminution de durée de propagation :

$$T - T' = \frac{Lv}{V^2} - \frac{Lv}{V_0^2} = \frac{Lv}{V_0^2}(n^2 - 1),$$

en désignant par n la valeur $\frac{V_0}{V}$ de l'indice de réfraction de l'eau. C'est précisément la formule directement vérifiée par le déplacement des franges d'interférence dans l'expérience de Fizeau (1). On voit que l'effet Fizeau est la différence de deux effets simultanés de même type. L'effet dû à l'*état de mouvement* de la masse d'eau utile (*effet*

(1) Fizeau, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXIII, p. 351 ; 1851 ; — Michelson et W. Morley, *American Journal of Science*, t. XXI, p. 377 ; 1886.

de mouvement) affaiblit l'entraînement apparent qui est dû à la *diminution de la masse utile* de l'eau réellement traversée par la lumière (*effet de masse*).

Remarques. — 1. La valeur de l'indice n s'introduit seulement dans l'*effet de masse* dont l'explication est précisément indépendante de toute hypothèse spéciale sur le mode de transmission de la lumière.

2. La *loi de l'effet de mouvement* est particulièrement remarquable par sa simplicité : *L'influence du mouvement d'un cylindre* OS_0 *sur la durée de propagation de la lumière le long du cylindre est la même que si l'intérieur du cylindre était vide de toute matière.* Cette identité de propriété de la matière et de l'éther du vide au point de vue de l'influence du mouvement sur la durée de propagation tient, selon ma manière de voir, à ce que les vibrations se propagent dans les corps par l'intermédiaire de l'*éther du vide*, et à ce que le *retard* imprimé par l'eau à la lumière transmise est dû au *reploiement* des trajets suivis dans l'éther par les vibrations élémentaires réfléchies d'une particule à une autre ; or justement les *parcours doubles ou multiples d'aller et retour*, par lesquels la propagation dans l'eau diffère de la propagation dans le vide, n'interviennent pas sensiblement dans les *variations du retard* dues au mouvement du cylindre OS_0 [1].

---

[1] *A*. La grandeur des coefficients de réflexion sur les particules n'intervient pas dans la théorie de l'effet de mouvement. En particulier, l'influence des parcours doubles ne cesse pas de s'éliminer d'elle-même, si l'on suppose les particules réfléchissantes de diverses espèces et inégalement réfléchissantes, ce qu'il est nécessaire de supposer au moins pour les atomes chimiques divers d'un corps composé.

B. Mais une réserve est indispensable : *La théorie* exposée *suppose* implicitement *que la source lumineuse est entraînée avec la colonne* OS_0, tandis que le dispositif de Fizeau la laisse immobile. J'ai déjà dit que, grâce à l'existence de deux faisceaux interférents, de parcours exactement inverses, on peut, sans changer le résultat, supposer l'éther immobile par rapport à la source lumineuse. Alors, si θ est la période de vibration lumineuse dans cet éther immobile, en vertu de l'*effet Doppler-Fizeau* la période des vibrations qui *abordent* les particules fuyant devant la lumière avec la vitesse v, a une valeur θ' supérieure à θ de la quantité $\delta = \frac{v}{V_0}\theta$.

Or j'ai indiqué (*Séance, du 15 janvier 1900, de la Société française de Physique*) que, si les particules sont *absorbantes*, les vibrations qu'elles réfléchissent se comportent à la manière des *vibrations forcées* émises par un *résonateur*, quand la période des vibrations incidentes n'est pas trop éloignée d'une période θ_0 de vibration propre du résonateur : elles éprouvent des changements de phase qui, en première approximation, sont de la forme : $\varphi = \frac{1}{2\pi}\ \text{arc tg}\ \frac{2\tau\theta}{\theta^2 - \theta_0{}^2}$, en entendant par θ la période des vibrations qui *abordent* la particule, c'est-à-dire

III. — Discussion des hypothèses.

L'avantage du système d'hypothèses que j'ai choisi me paraît être de bien dégager les éléments *essentiels* des phénomènes et d'en

---

que, si l'expérience de Fizeau était faite sur un milieu absorbant, θ serait, dans la valeur de φ, remplacé par θ'.

J'ai montré, en particulier, que, conformément aux *expériences de Wernicke* sur la *réflexion* et la *dispersion* par les milieux absorbants : Si θ est supérieur à θ_0, il y a *retard croissant de la phase des vibrations réfléchies* et *augmentation de l'indice quand* θ *diminue*, c'est-à-dire à mesure qu'on s'approche du côté rouge de la bande d'absorption. Le retard est égal à $\frac{1}{4}$ de période pour $\theta = \theta_0$ et se change en *avance* de phase par réflexion, quand θ devient inférieure à θ_0 ; alors, à l'avance de phase par réflexion correspond une diminution de l'indice de plus en plus grande, à mesure que θ se rapproche de θ_0. Mais cela n'est vrai qu'à une certaine distance de θ_0. Si $(\theta - \theta_0)$ est assez faible pour que φ dépasse, *en valeur absolue*, une limite comparable *en première approximation à* 1 8, les variations de l'indice se renversent (*dispersion anomale*), c'est-à-dire qu'il y a un *maximum de l'indice du côté rouge* de la bande d'absorption, un *minimum du côté violet*, séparé du maximum par un point d'inflexion de la courbe de variation de l'indice. Ce minimum peut être inférieur à 1 et même voisin de 0 (vitesse de propagation presque infinie) ; *mais, contrairement à ce que donne la théorie de Helmholtz-Sellmeier, le maximum de l'indice ne peut pas devenir infini ; la courbe de l'indice n'admet pas d'asymptote ;* cela tient, dans ma manière de voir, à ce que la longueur d'onde n'est pas infinie vis-à-vis de la distance moyenne des particules.

Les variations de n, dues à cette influence de l'absorption, sont assez grandes, près de la bande d'absorption, pour prédominer dans le phénomène de la dispersion ; autrement dit, la variation de l'indice n avec la période θ est due surtout aux changements de phase par réflexion sur les particules absorbantes. Alors, au changement δ de la période incidente par effet Doppler-Fizeau correspond sensiblement le changement d'indice $\Delta n = \delta \frac{dn}{d\theta}$, la valeur de $\frac{dn}{d\theta}$ étant supposée fournie par la valeur expérimentale de la dispersion.

Pour la propagation le long de la colonne OS_0 de liquide, on a donc le retard en temps :

$$\Delta T = \frac{l}{V_0} \Delta n \text{ ou, au second ordre près : } \Delta T = \frac{Lv}{V^2} \theta \frac{dn}{d\theta}.$$

On ne pourra guère répéter l'expérience de Fizeau sur un milieu très absorbant ; θ sera toujours à une distance de θ_0 telle que le sens de la dispersion soit *normal*, c'est-à-dire que $\frac{dn}{d\theta} < 0$. Le retard $\Delta T < 0$ est donc une *avance réelle*, c'est-à-dire que l'*absorption augmentera l'effet d'entraînement apparent des ondes*. Cet effet ne suivra plus du tout la loi vérifiée par Fizeau, mais bien, en première approximation, la loi :

$$T - T' = \frac{Lv}{V_0^2} \left(n^2 - 1 - \theta \frac{dn}{d\theta}\right).$$

Pour une valeur de θ, supérieure, par exemple, à θ_0 (côté rouge de la bande d'absorption), mais pas trop éloignée de θ_0, l'influence de l'absorption atteindra facilement le *même ordre* de grandeur que l'effet total. Il serait intéressant de vérifier cette conséquence de ma manière de voir.

donner l'explication la plus directe, débarrassée de tout accessoire inutile. Je vais d'abord en donner de nouveaux exemples simples, empruntés à la série des délicates expériences de M. Mascart[1] sur l'*invariabilité des phénomènes optiques dans un système que la terre emporte tout entier* dans son mouvement, y compris la source lumineuse. Je me borne au cas où les rayons lumineux sont parallèles à la direction de la vitesse de la terre par rapport à l'éther. Pour traiter le cas général, comme aussi le problème de l'aberration astronomique, il ne faut pas, comme on le fait d'habitude, négliger les quantités de l'ordre du carré de l'aberration, qui peuvent, *a priori*, fournir des effets définitifs de l'ordre de l'aberration, quand la vitesse de la terre a une importante composante normale au rayon. Mais cette question mérite une étude spéciale, et je préfère y revenir dans une autre note, parce qu'elle présente un intérêt plutôt astronomique.

Conséquences théoriques des expériences de M. Mascart. — 1. Il serait sans doute assez compliqué d'étendre la théorie de l'entraînement de l'éther de Fresnel aux *milieux biréfringents*. Au contraire, on peut répéter immédiatement, pour chacune des deux vibrations principales de la double réfraction rectiligne ou circulaire, le raisonnement qui établit la loi de l'effet de mouvement; d'où cette conclusion :

Le mouvement d'un système suivant le rayon lumineux modifie de la même quantité le retard subi par les deux vibrations rectilignes ou circulaires, qui se propagent avec des vitesses différentes dans une lame de spath perpendiculairement à l'axe ou dans une lame de quartz suivant l'axe; par suite, la biréfringence de la lame de spath et le pouvoir rotatoire ne doivent pas être altérés par le mouvement de la terre. C'est justement la conclusion des expériences délicates faites par M. Mascart, qui a insisté sur l'*intérêt théorique* de ce résultat[2] jusqu'ici resté sans explication.

2. Le principe de l'effet de mouvement trouve son application la plus directe dans une autre expérience de M. Mascart[3] : On observe les positions des franges d'interférence données par deux faisceaux de lumière différant sur une partie de leur trajet que l'un effectue dans l'air, l'autre parallèlement au premier, mais à travers

---

(1) Mascart, *Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 2e série, t. I, p. 157; 1872, et t. III, p. 36; 1874.

(2) *Loc. cit.*, p. 417-420.

(3) *Loc. cit.*, p. 414.

des lames de flint épaisses. L'appareil est orienté de manière que les faisceaux parallèles se propagent dans la direction du mouvement de la terre (1); on le fait alors tourner tout entier de 180°; on constate que les franges d'interférence demeurent immobiles. L'altération de durée de propagation produite par le mouvement de la terre doit, en effet, être la même pour la traversée des lames de flint et pour la traversée de la même épaisseur d'air mesurée par rapport au système. C'est l'énoncé même du principe de l'effet de mouvement, à cela près que la propagation dans l'air est, dans l'énoncé du principe, remplacée par la propagation dans le vide; le verre et l'air sont, comme tous les milieux très transparents, équivalents entre eux et au vide sous une même épaisseur mesurée dans le système en mouvement. La précision de l'expérience de M. Mascart permet d'affirmer que, si les durées de propagation à travers le flint et l'air sont inégalement altérées par le mouvement de la terre, la différence est certainement inférieure à $\frac{1}{400}$ de la durée de propagation dans l'air.

Voilà des résultats qui peuvent être considérés comme des *démonstrations expérimentales délicates et assez directes du principe de l'effet de mouvement*. Cette conclusion est valable seulement à condition d'admettre que l'éther du vide participe peu ou point au mouvement de la terre. Supposons, en effet, l'éther presque complètement entraîné par la terre, jusqu'à une certaine distance du sol, dans une zone qui comprenne les instruments d'observation; alors, le système (source-éther-instruments) étant *tout entier* emporté dans un mouvement de translation uniforme, il est évident, *a priori*, que rien, dans le phénomène optique *intérieur* au système, ne pourra trahir son état de mouvement; de même, les phénomènes acoustiques produits dans un wagon fermé emportant l'air qu'il contient sont, pour un observateur placé dans le wagon, les mêmes que si le wagon était immobile.

Conséquences théoriques de l'expérience de Fizeau. — On peut tirer de l'expérience de Fizeau une *démonstration expérimentale du principe de l'effet de mouvement* qui ne soit plus soumise à la restriction précédente : La loi de l'effet de masse a été établie indépendamment d'hypothèses spéciales. La loi de l'effet de mouvement

(1) En réalité, l'orientation est ouest-est ou inversement, et l'expérience est faite vers midi

qui, combinée avec la précédente, permet d'établir la loi de l'effet Fizeau, est donc inversement une conséquence de la loi de l'effet Fizeau, admise comme un fait d'expérience. On peut alors affirmer en toute certitude que l'influence du mouvement de la colonne OS_0 (Voir *fig.* 2 et 3) est la même que si l'intérieur du cylindre OS_0 était vide de toute matière ; c'est une véritable loi expérimentale, déduite d'un *résultat positif* et à l'abri de la restriction relative à l'entraînement de l'éther, tant qu'il s'agit de vitesses ne dépassant pas quelques mètres par seconde; elle est établie à $\frac{1}{100}$ près environ(1). Cela veut dire qu'inversement, si l'on admet l'explication de la vitesse de propagation dans l'eau par les réflexions des vibrations d'une particule à l'autre, certainement les vibrations transmises directement par les couches des particules se propagent entre les particules *avec la même vitesse que dans le vide*, à $\frac{1}{100}$ près du moins. Dès lors on est conduit à dire que *la lumière supposée consister en une ondulation, se propage entre les particules des corps dans un milieu qui est identique à l'éther du vide et qui est indépendant du mouvement des particules du corps;* cela du moins, quand la vitesse du mouvement ne dépasse pas quelques mètres par seconde; d'ailleurs il n'existe, à ma connaissance, aucun fait qui permette de supposer probable un entraînement de l'éther du vide par les particules matérielles, lorsque les vitesses des particules deviennent comparables même à quelques hectomètres par seconde, comme cela doit être dans les gaz, aux températures voisines de 0° ou 100°, d'après la théorie cinétique des gaz, ou à quelques dizaines de kilomètres par seconde, comme il arrive pour le mouvement de translation de la terre dans l'espace (2). L'éther du vide qui remplit l'espace intersidéral semble bien nous fournir une route toute jalonnée, par rapport à laquelle il conviendrait de définir les mouvements des corps célestes. Je reviendrai une autre fois sur cette importante question astronomique.

Hypothèse des réflexions particulaires. — Ainsi l'on est conduit à admettre que, même dans la matière, la propagation de la lumière

(1) D'après la précision des expériences de MM. Michelson et Morley.

(2) Sans doute n'en serait-il plus de même, si la vitesse des particules matérielles s'approchait de celle de la lumière, comme c'est le cas pour le bombardement cathodique, d'après les recherches de J.-J. Thomson.

se fait encore par l'intermédiaire du même milieu que dans le vide. La seule hypothèse qu'il resterait à justifier est celle de la *réflexion de la lumière par les particules matérielles.* Si l'on admet l'existence des particules baignant dans l'éther du vide, il semble difficile de ne pas admettre qu'elles constituent des centres de réflexion des vibrations lumineuses. J'espère qu'il sera possible de saisir pour ainsi dire sur le fait cette réflexion des vibrations par les particules en montrant expérimentalement qu'un milieu *pur et homogène* est nécessairement un *milieu trouble* pour des vibrations lumineuses dont la longueur d'onde n'est pas trop supérieure aux distances moyennes des particules du milieu; sans doute y a-t-il diffraction des rayons bleus [1] et surtout des ultra-violets extrêmes par les molécules des gaz, tels que l'air atmosphérique.

Il est intéressant de signaler le *cas limite : s'il existe des rayons ultra-violets de longueur d'onde notablement inférieure aux distances des molécules du milieu considéré*, la réflexion par l'ensemble des particules doit se produire *en tous sens*, comme pour chaque particule isolée, et les vibrations élémentaires considérées dans l'explication de la transmission ont des retards relatifs de l'ordre de la longueur d'onde irrégulièrement variables, en sorte qu'il n'y a plus d'onde transmise avec une vitesse définie [2]; mais il y a d'une part une *diffusion générale*, d'autre part une transmission en ligne droite de vibrations se propageant presque indépendamment les unes des autres; la *tête d'un train d'ondes avance avec la même vitesse que dans le vide*, et la queue du train est d'autant plus longue et plus en retard que le milieu est plus épais; cette tête de train est formée par les vibrations transmises sans réflexion; elle s'affaiblit en se propageant en vertu de l'*absorption mécanique* due à la diffusion; elle est prépondérante si les réflexions sur les particules sont assez faibles, et *dans ce cas* il y a une transmission en ligne droite à travers un prisme avec une vitesse assez bien définie pour le front de l'ébranlement et *égale à la vitesse dans le vide.* L'extrapolation de la théorie de Helmholtz donne aussi ce dernier résultat, mais seulement quand

---

(1) Brewster a déjà dit que la couleur bleue du ciel est due probablement à la diffusion des rayons bleus par les molécules mêmes de l'air.

(2) Du point de vue analytique, ce résultat apparaît ainsi : l'épaisseur ε, qui définit la zone efficace dans le mécanisme de la transmission, au lieu d'être comparable à $\frac{\lambda}{100}$ par exemple, comme il arrivait pour le spectre visible, devient, quand λ diminue, de l'ordre même de λ, puis cesse d'exister.

la longueur d'onde tend vers *zéro*, ce qui n'a pas de sens physique.

Enfin ma manière de voir s'applique immédiatement à une succession de petits trains d'ondes formés chacun de vibrations très amorties. Si deux trains ont subi des retards différents, l'un a parcouru en plus que l'autre une distance au moins égale au double de la distance de deux particules voisines; si donc la longueur de chaque train est inférieure à cette limite inférieure, les deux vibrations amorties ne peuvent se superposer pour interférer; elles se propagent chacune indépendamment de l'autre et donnent, avec quelques particularités supplémentaires, les mêmes résultats que des vibrations sinusoïdales de longueur d'onde très inférieure au double de la distance moyenne des particules.

But poursuivi. — Si l'hypothèse de la réflexion sur les particules paraît *nécessaire*, il n'est nullement évident qu'elle doive être *suffisante* pour expliquer tous les phénomènes optiques. J'en ai montré les avantages en ce qui concerne les phénomènes d'entraînement de l'éther, qui se trouvent expliqués, dans le cas des corps transparents, d'une manière purement *géométrique*, et cependant plus nettement et plus complètement que par les théories *dynamiques* que l'on possédait seules jusqu'ici. Même tout ce que j'ai dit d'essentiel est *indépendant de la transversalité des vibrations lumineuses*. Par exemple, il n'y a rien à y changer pour établir que des vibrations *longitudinales* se propagent *sans réfraction* dès que leurs longueurs d'onde sont notablement inférieures aux distances des particules.

D'une manière générale, je crois utile d'éliminer le plus possible les hypothèses dynamiques ou électromagnétiques et de réduire, dans chaque cas, les hypothèses au *minimum nécessaire* pour résoudre le problème étudié. Chaque fois qu'il sera indispensable de compléter ou de modifier les hypothèses déjà faites, comme on aura traité les problèmes *aussi indépendamment que possible les uns des autres*, on verra mieux de quel phénomène dépend l'insuffisance de la théorie, quelles sont les hypothèses à conserver et les hypothèses à modifier ou à compléter les premières. Il me semble aussi qu'une théorie développée dans cet esprit, sans parti pris de généralité absolue, pourra, au fur et à mesure de son développement, servir à guider aisément dans les recherches expérimentales. C'est ce que je me propose de tenter pour quelques-uns des phénomènes les plus simples de l'optique.

Sur l'interrupteur Wehnelt. Existence d'un régime stable. — Influence sur l'éclairage des lampes;

Par M. Edmond Rothé [1].

L'interrupteur de M. Wehnelt peut fonctionner sous trois régimes bien distincts : un régime continu et deux régimes variables, l'un à faible intensité moyenne, l'autre à grande intensité moyenne.

On peut facilement observer ces différents régimes en opérant de la façon suivante :

Les deux électrodes de la cuve électrolytique sont mises en communication avec les deux pôles du secteur de la Sorbonne (113 volts), par l'intermédiaire d'une résistance liquide variable formée simplement d'une dissolution très étendue de sulfate de cuivre (1° à 2° Baumé), dans laquelle plongent deux lames de cuivre. Une manivelle permet de déplacer une des lames le long d'une vis. Un ampèremètre, placé dans le circuit, indique l'intensité du courant. L'anode de l'interrupteur est constituée par un fil de platine de $0^{mm},55$ de diamètre et de 2 centimètres de long. Le liquide est de l'eau acidulée par l'acide sulfurique (5° Baumé).

Dans ces conditions, lorsque, la force électromotrice restant constante, on fait varier la résistance du circuit, voici ce que l'on constate : pour une grande valeur de la résistance, l'intensité du courant est faible (4 ampères environ) ; mais l'aiguille de l'ampèremètre, pour une valeur donnée de la résistance, reste fixe. Le courant est alors continu et sensiblement constant. C'est le régime le plus simple pendant lequel l'électrolyse a lieu. Dans ces conditions, l'appareil ne peut fonctionner comme interrupteur; aussi, si on introduit dans le circuit une bobine d'induction sans trembleur, on ne constate aux bornes de l'induit aucune étincelle, si petite qu'elle soit.

Si on diminue la résistance, on voit que l'intensité croît; elle croît ainsi jusqu'à un maximum, puis subitement tombe à une très faible valeur $2^{amp},5$ environ. Ce nouveau régime, à faible intensité, est un régime variable. L'aiguille de l'ampèremètre indique des variations d'intensité; mais, ce qui est surtout remarquable, c'est qu'une fois ce

---

[1] Séance du 1er décembre 1899.

régime atteint on peut, tant ce régime est stable, augmenter ou diminuer considérablement la résistance sans qu'il soit modifié.

Il est ainsi possible de donner à la résistance une très grande valeur, de se placer dans les conditions où normalement le circuit devrait être parcouru par un courant d'une dizaine d'ampères, sans que l'intensité dépasse sensiblement $2^{amp},5$.

On peut donc dire qu'il *existe pour chaque interrupteur et pour une force électromotrice donnée, une résistance limite, telle que pour toute résistance inférieure le régime variable est seul possible. Pour toutes les résistances supérieures on peut avoir soit le régime variable, soit le régime continu, et cela suivant la façon dont on a établi le courant.*

Il n'est donc pas indifférent de fermer le circuit directement sur une grande résistance ou de le fermer sur une résistance très faible, que l'on augmente ensuite pendant que le courant circule.

Le régime variable ne diffère pas seulement du précédent par l'intensité : le dégagement des gaz n'est pas le même dans chacun de ces deux cas. Il n'y a plus, sous le régime variable, comme dans l'électrolyse, de nombreuses bulles partant de tous les points du fil de platine. Les bulles ne se dégagent plus qu'une à une et d'une façon très régulière. Le fil de platine étant vertical, c'est au point où le fil est soudé dans le verre, que se forme une bulle unique, assez volumineuse, qui de temps en temps laisse échapper une bulle plus petite qui vient éclater à la surface ; les gaz qui s'en échappent sont très chauds et fument à l'air. Le dégagement très régulier des bulles produit une sorte de gazouillement. L'aiguille de l'ampèremètre oscille chaque fois qu'une bulle se dégage.

Si on regarde le fil de platine à l'aide d'un microscope, voici ce que l'on observe : autour du fil et de chaque côté se trouvent deux ombres indiquant que le liquide ne touche pas le fil. On peut ainsi examiner au microscope la gaine de gaz dont l'existence a permis d'expliquer le fonctionnement de l'interrupteur. On voit cette gaine se rétrécir ou s'élargir suivant que la bulle se forme ou éclate. Si l'on place en dérivation, sur les bornes de l'interrupteur, une lampe de 110 volts, on constate qu'elle ne brille pas, tant que le régime est continu.

Elle ne doit commencer à briller qu'au moment où s'introduit dans l'interrupteur, autour de l'anode, une résistance supplémentaire. Or c'est précisément ce que l'on constate ; car c'est au moment du

changement de régime que le filament commence à rougir : c'est donc précisément au moment du changement de régime que se forme la gaine de gaz.

Cette gaine doit prendre naissance pour une certaine température du fil de platine et, par suite, se former toujours pour une même valeur de l'intensité du courant : on peut vérifier en effet, en faisant varier la force électromotrice, qu'à chaque valeur de cette force électromotrice correspond une résistance limite, et l'intensité du courant, au moment du changement de régime, a toujours la même valeur.

Une fois la gaine formée, l'interrupteur conserve longtemps son régime discontinu à faible intensité; la stabilité de ce régime est uniquement due à une cause calorifique, à la température du fil de platine. Il est en effet très facile de constater qu'on peut détruire le régime stable en abaissant cette température : un bloc de glace est creusé en forme de puits de glace; c'est ce bloc qui servira de vase électrolytique; la cathode et l'anode plongent dans l'eau acidulée placée dans la cavité.

On règle alors la résistance de façon à obtenir l'état stable, puis on la diminue de façon à se placer dans les conditions où, normalement, l'électrolyse devrait avoir lieu, sans pour cela changer le régime. Mais si à ce moment, à l'aide d'un agitateur à air, on envoie du liquide froid sur le fil, on entend un bruit analogue à celui du fer rouge plongé dans l'eau, le régime stable est détruit, et l'électrolyse a lieu.

On peut réaliser l'expérience inverse : le fil de platine est préalablement chauffé au rouge par un bec Bunsen. Si on ferme le circuit en immergeant brusquement le fil dans l'eau acidulée, le régime à faible intensité s'établit jusqu'au moment où, le platine s'étant refroidi, le contact avec le liquide a lieu et l'électrolyse commence.

On peut rapprocher de cette expérience le fait observé par plusieurs expérimentateurs : si on enfonce très doucement le fil, en ne produisant d'abord le contact que par un point et en enfonçant ensuite graduellement, la résistance étant très grande, il y a aussi échauffement du fil; la gaîne de gaz se forme et, dès lors, le régime stable s'établit. Au contraire, si, la résistance étant supérieure à la résistance limite, on enfonce le fil d'un seul coup, le régime stable ne s'établit pas.

La stabilité s'explique donc très naturellement : une fois le fil de platine suffisamment chaud, la gaîne se forme; dès lors on peut

augmenter la résistance sans la détruire, car on sait que le platine chaud absorbe les gaz et que, grâce à cette absorption, sa température reste élevée.

Ainsi seuls les effets calorifiques sont cause de la stabilité du régime à faible intensité. Ce régime est variable; mais les variations d'intensité du courant, produites par les changements d'épaisseur de la gaine de gaz, sont trop faibles et trop lentes pour que, sous ce régime, l'anode de platine puisse constituer un interrupteur de courant.

Grâce à la stabilité de ce régime, on peut, sans la modifier, intro duire une self-induction dans le circuit, par exemple le primaire d'une bobine d'induction sans trembleur. On ne constate dans ces conditions, aux bornes de l'induit, aucune étincelle appréciable, comme l'a déjà démontré M. Pellat [1].

Si on veut que la bobine fonctionne, il faut, au contraire, la placer dans le circuit avant de fermer le courant. Dans ces conditions, l'intensité moyenne dans le primaire peut atteindre une très grande valeur (30 ampères environ) (M. Pellat) [2]. C'est ce troisième régime, variable à grande intensité moyenne, qui est le plus intéressant par ses propriétés nombreuses.

Ce qui est particulièrement remarquable, c'est l'influence qu'a, dans ces conditions, l'interrupteur sur l'éclairage fourni par les lampes du secteur. Non seulement au Laboratoire de Physique où est placé l'interrupteur, mais encore à la Sorbonne, dans les Laboratoires voisins, les lampes brillent d'un éclat beaucoup plus grand pendant le fonctionnement de l'interrupteur. L'effet est surtout remarquable le soir, où la lumière devient éblouissante, et peut s'observer même sur un assez grand nombre de lampes brillant à la fois.

Cette action sur les lampes est due aux forces électromotrices de self-induction produites par les interruptions rapides du courant; l'intensité variable du courant dans la lampe passe alternativement par des maxima et des minima; mais l'on peut constater que l'intensité moyenne du courant est plus faible que sous le régime normal. Si en effet on intercale dans le circuit de la lampe un galvanomètre à mercure de M. Lippmann, on observe nettement, au moment où la

---

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXIX, p. 815.
(2) *Comptes Rendus*, t. CXXVIII, p. 732.

lampe brille davantage, une dénivellation du mercure indiquant une diminution d'intensité moyenne.

Au contraire, comme on devait s'y attendre, l'intensité efficace du courant, mesurée à l'aide d'un ampèremètre Cardew, est considérablement augmentée.

Voici les résultats numériques des mesures faites dans diverses conditions :

La source employée étant une batterie de 20 accumulateurs, une lampe à incandescence de 55 volts mise directement en communication avec les pôles de la batterie était parcourue par un courant de $0^{amp},73$; dans ces conditions, elle éclairait faiblement. Placée en dérivation sur les bornes de l'interrupteur, la lampe prenait au contraire un éclat éblouissant, pendant que l'interrupteur actionnait une petite bobine d'induction, les tiges de l'induit étant complètement écartées. L'intensité moyenne n'était plus que $0^{amp},60$; mais l'intensité efficace pour le maximum d'éclat devenait $1^{amp},05$.

Avec le secteur comme source, la différence était encore plus marquée : l'intensité du courant étant sous le régime normal $0^{amp},55$, l'intensité efficace dépassait $1^{amp},2$.

En résumé, ces nombres montrent que l'influence de l'interrupteur Wehnelt sur les circuits d'éclairage n'est nullement négligeable; c'est là une propriété curieuse du régime variable à grande intensité moyenne.

Le régime variable à faible intensité moyenne est surtout intéressant par sa très grande stabilité.

Recherches sur les phénomènes de phosphorescence produits par le rayonnement du radium ;

Par M. Henri Becquerel[1].

On sait qu'après avoir découvert et préparé des substances radioactives dont le rayonnement est considérablement plus intense que celui de l'uranium M. et Mme Curie ont reconnu, les premiers, que ce rayonnement excitait la fluorescence du platinocyanure de baryum. M. et Mme Curie ayant eu l'obligeance de mettre à ma disposition

(1) Séance du 15 décembre 1899.

quelques milligrammes de chlorure de baryum radifère extrêmement actif, j'ai pu étudier l'action du rayonnement de cette matière sur diverses substances phosphorescentes.

Ces substances ont été celles qui ont servi autrefois aux travaux de mon père, et plus tard aux miens. Je citerai notamment diverses préparations de sulfures de calcium et de strontium, très lumineuses sous l'action de la lumière, des minéraux, tels qu'un rubis, un diamant, une variété de spath calcaire manganésifère, divers échantillons de fluorine, et de la blende hexagonale très phosphorescente préparée par M. H. Sainte-Claire Deville. Ces substances étaient pour la plupart réduites en poudre et collées sur des feuilles très minces de mica.

Lorsqu'on se place dans l'obscurité, et qu'on approche ces substances à quelques millimètres de distance du corps radiant, en évitant l'interposition de toute autre matière que l'air, on reconnaît que la plupart deviennent lumineuses. Celles dont le spectre d'excitation [1] est formé de rayons lumineux, telles que le rubis et le spath calcaire précités, ne deviennent pas phosphorescentes. Au contraire, celles des substances qui s'illuminent dans les rayons ultraviolets, ou sous l'influence des rayons Röntgen, deviennent généralement lumineuses sous l'influence du rayonnement du radium.

On observe cependant des différences profondes dans les effets de ces deux rayonnements. Ainsi l'échantillon de diamant qui a servi dans ces expériences, et qui est vivement lumineux sous l'action du radium, ne devient pas lumineux avec le rayonnement du tube focus que j'ai employé, en l'entourant d'un papier noir. Le sulfate double d'uranium et de potassium est plus lumineux que la blende hexagonale, sous l'influence des rayons X ; il l'est moins avec le radium ; le sulfure de strontium lumineux vert est vivement excité par les deux rayonnements ; le sulfure de calcium lumineux bleu, au bismuth, est à peine excité par les rayons X, alors qu'il devient lumineux lorsqu'on l'approche du sel radifère. Je me borne à ces exemples que l'on pourrait multiplier.

Afin d'avoir des données plus précises sur les intensités relatives des effets lumineux ainsi observés, j'ai établi la disposition photométrique suivante : le chlorure de baryum radifère est placé sur un support mobile, muni d'une vis micrométrique qui lui permet de

---

(1) Voir, en particulier, *Comptes Rendus*, t. LXIX, p. 994 ; 1869.

s'abaisser ou de s'élever de hauteurs connues ; au dessus est disposée, sur un support fixe, la substance phosphorescente, collée sur une lame de mica ou de verre, la face tournée du côté de la matière active. A côté de la substance phosphorescente étudiée, on projette par réflexion, sur une bande de papier blanc, l'image d'une source lumineuse d'intensité constante, obtenue au travers d'une lentille munie d'un diaphragme variable, à œil de chat ; en faisant varier la surface de l'ouverture, on fait varier l'intensité de l'image proportionnellement à cette surface, et l'on mesure cette intensité après l'avoir rendue autant que possible égale à celle de la substance phosphorescente. La source lumineuse était un petit rectangle de verre dépoli, éclairé soit par une lampe Carcel, soit par un bec Auer. Des verres colorés permettaient de donner à l'image une teinte voisine de celle des lueurs phosphorescentes.

En plaçant diverses substances à 6 millimètres environ au-dessus de la matière active, on a eu pour les intensités relatives les nombres suivants :

	Intensité	
	sans écran	au travers du papier noir
Blende hexagonale........................	13,36	0,04
Platinocyanure de baryum.................	1,99	0,05
Diamant..................................	1,14	0,01
Sulfate double d'uranium et de potassium....	1,00	0,31
Fluorure de calcium (chlorophane verte)....	0,30	0,02

Ces nombres ne sont pas des valeurs caractérisant d'une manière absolue les substances dénommées ; ils sont relatifs aux surfaces phosphorescentes tels qu'elles ont été préparées ; l'intensité varie avec la densité de la couche pulvérulente.

On a fait ensuite mouvoir la vis micrométrique du support de manière à éloigner la matière active à diverses distances de la substance phosphorescente. Afin d'éliminer la lumière émise par la matière active elle-même, la substance phosphorescente étudiée reposait sur une feuille mince d'aluminium battu, repliée en double sur elle-même. Dans ces conditions on a obtenu, pour l'effet produit par les radiations qui traversent la double feuille d'aluminium, les intensités suivantes :

Distances d mm	d^{-2}	Platinocyanure de baryum i	Diamant i	Sulfate double d'uranium et de potassium d	i	d^{-2}
6,3	1	1	1	5,6	1	1
8,5	0,549	0,480	0,543	7,8	0,556	0,515
11,5	0,299	0,262	0,262	10,8	0,267	0,268
13,5	0,217	0,167	0,167	12,8	0,175	0,191

On voit par ces nombres que l'intensité varie un peu plus vite que la raison inverse du carré de la distance à la matière active, ce qui indique une absorption par l'air. Cette absorption est différente pour le rayonnement particulier qui excite chaque substance.

Le support fixe était disposé de façon qu'on pût interposer entre la source radiante et les corps phosphorescents des écrans de diverse nature. On constate alors que les mêmes écrans affaiblissent très inégalement la phosphorescence des diverses substances.

La dernière colonne du premier tableau ci-dessus indique l'intensité de la phosphorescence des diverses substances lorsque les rayons qui les excitent ont traversé une feuille de papier noir. Parmi les séries de mesures obtenues, je citerai la suivante, pour laquelle les substances phosphorescentes étaient à 6 millimètres environ au-dessus de la matière active et reposaient soit sur une feuille double d'aluminium battu, soit sur une feuille de papier noir. L'intensité de la phosphorescence au travers du premier écran (alumium ou papier noir) est prise comme unité pour chaque substance.

Écrans: Nature	Écrans: Épaisseur	Au travers de l'aluminium: Blende hexagonale	Au travers de l'aluminium: Diamant	Au travers de l'aluminium: Platino-cyanure de baryum	Sulfate double d'uranium et de potassium au travers de l'aluminium	Sulfate double d'uranium et de potassium au travers du papier noir
Aluminium battu.	Feuille double	0,914	0,966	0,853	0,996	0,999
Mica	0mm,025	0,0756	0,0289	0,0784	0,417	0,772
Papier noir	0 068	0,0384	0,0108	0,0713	0,387	0,890
Aluminium	0 098	0,0275	0,0055	0,0561	»	0,637
Verre	0 140	0,0263	0,0046	0,0445	0,241	0,613
Ébonite	0 738	»	0,0009	0,0137	0,111	0,316
Cuivre	0 090	0,0148	0,0000	0,013	0,117	0,3257

Ce tableau, ainsi que d'autres analogues que j'ai pu dresser, montre une absorption relative inégale, par un même écran, du rayonnement qui excite la phosphorescence des diverses substances. On peut interpréter ce résultat en admettant que chaque substance est excitée par un rayonnement particulier, comme cela se produit

avec les rayons lumineux, et l'on en conclut que le rayonnement de la source radiante se compose de rayonnements de diverses natures, caractérisés par leur absorption et analogues aux radiations de diverses longueurs d'onde d'un faisceau de lumière blanche.

Parmi les effets de phosphorescence observés, un des plus curieux est la persistance considérable de la phosphorescence excitée par le radium dans certains minéraux, et en particulier dans la fluorine. La phosphorescence de la fluorine reste observable pendant plus de vingt-quatre heures après que l'influence du radium a cessé.

Les divers échantillons de fluorine que j'ai réunis autrefois pour mes recherches sont des corps qui, exposés à la lumière du jour ou au soleil, puis examinés dans une chambre noire, sont faiblement phosphorescents. Si on les expose à la lumière de l'arc électrique, ils deviennent beaucoup plus lumineux et conservent une phosphorescence appréciable pendant des heures entières. Le même effet est encore produit lorsqu'on fait éclater très près de la fluorine la décharge d'une bouteille de Leyde. Il est très remarquable que le rayonnement du radium produise un effet presque aussi intense.

On doit rapprocher ce phénomène de celui qui a été observé par M. Crookes, puis par mon père [1], sous l'influence des rayons cathodiques, dans un tube à gaz raréfié; la persistance de matières qui s'éteignent assez lentement dans le phosphoroscope est considérablement augmentée; la phosphorescence des substances qui s'éteignent très vite, comme les sels d'urane ou les platinocyanures, ne présente pas de persistance observable autrement qu'au phosphoroscope. Dans les expériences précitées, mon père avait reconnu que le spath-fluor blanc se colore rapidement en violet sous l'influence des rayons cathodiques; le même effet avait été observé, en 1832, par M. Perseal [2], sous l'influence de l'étincelle électrique. Le rayonnement du radium ne m'a encore rien montré de semblable au travers de la feuille de mica qui supportait les fragments de fluorine influencés. Ces faits doivent cependant être de la même nature que la coloration violette du verre sous l'influence du radium, signalée récemment par M. et Mme Curie.

L'influence des radiations du radium sur la phosphorescence par la chaleur a donné lieu à un résultat intéressant. On sait que

(1) *Comptes Rendus*, t. CLI, p. 205; 1885.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XLIX, p. 337 et 346; 1832.

la fluorine naturelle est phosphorescente par la chaleur. Si on l'échauffe, elle rend sous forme lumineuse l'énergie qu'elle a emmagasinée depuis l'époque de sa formation, et qu'elle aurait conservée indéfiniment si elle n'avait pas été échauffée. Cette élévation de température la rend impropre à devenir de nouveau lumineuse par une calcination ultérieure. Un grand nombre de minéraux et toutes les substances phosphorescentes présentent cette propriété.

Dessaignes, en 1809, avait observé qu'en faisant éclater une étincelle très près des corps calcinés et rendus inactifs on leur rendait la faculté d'être de nouveau phosphorescents par la chaleur, soit immédiatement, soit à une époque ultérieure quelconque. L'action prolongée des rayons violets et ultra-violets produit le même effet (1). J'ai eu occasion de montrer (2) que, dans la phosphorescence par la chaleur, la lumière émise est identique, comme composition, à celle que l'on observe avec le phosphoroscope sous l'influence de la lumière. Pour la fluorine, en particulier, le spectre de la lueur émise se compose des mêmes raies et bandes, qui apparaissent et persistent dans un ordre révélant la plus ou moins grande rapidité d'extinction, ou la plus ou moins grande capacité lumineuse de substances diverses existant dans le minéral.

Avec la fluorine verte, qui a servi aux expériences décrites plus haut, lorsque l'étincelle rend au cristal inactif une énergie nouvelle, l'émission lumineuse est la même qu'au phosphoroscope. On remarque toutefois la prédominance d'une lueur continue, verte et bleue, avec deux maxima λ (530-510) et λ (488-480). On reconnait au phosphoroscope que cette lueur a une durée de persistance plus grande que celle des autres bandes, mais qu'elle est plus lente à atteindre son intensité maximum.

On a soumis à l'influence du radium, en les plaçant sur une lame mince de mica, à quelques millimètres au-dessus de la matière active, des fragments de fluorine préalablement calcinés et rendus inactifs. Ces fragments, qui deviennent instantanément lumineux, redeviennent rapidement capables de rendre, quand on les échauffe, une lumière identique à celle qui est provoquée par l'étincelle électrique avec prédominance de l'éclat de la bande 531-478 signalée ci-dessus.

Déjà, en 1897, M. Borgman (3) avait pu manifester avec les rayons

---

(1) Ed. Becquerel, *la Lumière*, t. I, p. 51.
(2) *Comptes Rendus*, t. CXII, p. 557 ; 1891.
(3) *J. de Phys.*, 3e série, t. VII, p. 671 ; 1898.

de l'uranium un effet de thermo-luminescence sur des mélanges de sulfate de potasse et de sulfate de manganèse.

Je terminerai ce résumé en signalant l'indépendance entre les effets de phosphorescence et le phénomène découvert récemment par M. et Mme Curie, le pouvoir temporaire de rendre l'air conducteur, communiqué aux corps soumis à l'influence du radium.

J'ai pu vérifier qu'un grand nombre de corps subissent cette influence et déchargent à distance les corps électrisés; ces corps influencés, placés sur une plaque photographique, soit directement s'ils ne sont pas phosphorescents, soit sur du papier noir, n'ont produit aucune action. L'effet paraît donc être différent de celui que j'avais signalé il y a quelques mois (1). Ces substances, lorsqu'on les échauffe, perdent leur activité.

Le sulfate double d'uranium et de potassium n'a pas paru subir cette influence. Après une exposition de plusieurs jours à l'action du radium, il n'a pas manifesté de variation appréciable, soit dans son pouvoir de rendre l'air conducteur, soit dans son action sur une plaque photographique.

La fluorine, soumise à l'action du radium, s'est comportée comme très active pour rendre l'air conducteur; on peut faire disparaître cette propriété par un lavage à l'eau, sans modifier sensiblement la phosphorescence persistante acquise par le cristal sous l'influence du radium.

Les faits qui viennent d'être exposés apportent de nouvelles preuves à la réalité d'une émission continue d'énergie par les corps radio-actifs; ils mettent, de plus, en évidence l'existence, dans cette émission, de radiations particulières caractérisées par leur absorption sélective, et présentant entre elles des différences du même ordre que les radiations lumineuses de diverses longueurs d'onde et les rayons X secondaires de M. Sagnac.

---

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXVIII, p. 771 ; mars 1899.

Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs;

Par M. Henri Becquerel (¹).

Au cours des expériences que je poursuis dans la recherche des faits qui peuvent nous éclairer sur la nature du rayonnement émis par les corps radio-actifs, j'ai eu l'occasion d'observer, récemment, des effets remarquables produits sur ce rayonnement lorsqu'il traverse un champ magnétique.

Dans un champ magnétique non uniforme, constitué par un puissant électro-aimant, j'ai observé que le rayonnement du radium s'infléchit et se concentre sur les pôles.

M. et Mme Curie, à qui je montrais quelques-unes des expériences qui vont être décrites, m'ont alors appris que MM. Stefan Meyer et Egon R. v. Scheweidler venaient de publier, trois semaines (²) auparavant l'observation d'une action d'un champ magnétique sur les rayons du radium et du polonium, et ils m'ont communiqué la Note de ces auteurs. Ceux-ci, en étudiant dans un champ magnétique uniforme le rayonnement du radium au moyen d'un écran de platinocyanure de baryum, ont conclu de leurs expériences que, dans un plan perpendiculaire au champ, les rayons sont infléchis vraisemblablement suivant des lignes circulaires, tandis qu'il existerait dans la direction du champ des rayons qui ne sont pas déviés. Ces propriétés sont celles des rayons cathodiques. Le même phénomène avait été vu peu de temps avant par M. Giesel.

Parmi les faits que j'ai observés, sans avoir eu connaissance de ces expériences, les uns sont conformes à ceux qui ont été découverts par les auteurs allemands; les autres apportent une contribution nouvelle à nos connaissances sur le rayonnemenl du radium.

Voici les expériences que j'ai réalisées avec la petite quantité de chlorure de baryum radio-actif, que je dois à l'obligeance de M. et de Mme Curie :

Effets produits dans le sens des lignes de force. — Dans un champ magnétique formé par deux petites surfaces de fer doux, planes et circulaires, de 14 millimètres environ de diamètre, qu'un fort élec-

(¹) Séance du 15 décembre 1899.
(²) *Physikalische Zeitschrift*, n° 10, p. 113-114.

tro-aimant permettait d'alimenter presque à saturation, et dont la distance a varié de quelques millimètres à plusieurs centimètres, suivant les expériences, j'avais disposé d'abord, près du centre d'une des surfaces polaires, la matière radio-active, déposée sur du papier et recouverte d'une mince feuille d'aluminium battu, puis contre l'autre pôle un écran fluorescent, soit de sulfate double d'uranium et de potassium, soit de platinocyanure de baryum, de blende hexagonale, de diamant, ou d'autres corps phosphorescents.

Tant que l'électro-aimant n'est pas excité, la phosphorescence apparaît sous la forme d'une large tache lumineuse s'étendant bien au-delà de la surface polaire en contact avec l'écran; la lueur est assez faible lorsque les armatures sont à une distance de 1 centimètre environ, conformément aux expériences que j'ai publiées récemment.



Fig. 1.

Si, alors, on excite l'électro-aimant, on voit la tache lumineuse se rétrécir et devenir considérablement plus intense. La lueur dépasse à peine les contours de la pièce polaire, et il semble que tout les rayons exitateurs émanés du radium viennent aboutir sur cette surface. L'augmentation d'intensité est considérable; elle ne présente pas de différence notable lorsqu'on change le sens de l'aimantation.

Le même phénomène se produit lorsqu'on interpose entre la matière active et la surface fluorescente des écrans de diverses

natures, tels que du papier noir, du verre, etc. ; l'intensité s'est seulement affaiblie, comme je l'ai indiqué antérieurement.

Si aux écrans phosphorescents on substitue contre la surface polaire une plaque photographique, on obtient en quelques instants des épreuves très intéressantes. L'épreuve reproduite ci-contre (*fig.* 1), a été obtenue à une distance de 15 millimètres avec une minute et demie de pose. On voit sur la même plaque l'impression très faible lorsque l'électro-aimant n'est pas excité, et l'impression très intense produite par les rayons qui ont traversé le champ magnétique.

L'augmentation considérable de l'intensité, obtenue dans cette expérience donne un moyen de concentrer sur une petite surface polaire l'action produite par une large surface de matière peu active l'expérience réussit avec des sels de radium faiblement actifs, mais je n'ai pu jusqu'ici obtenir aucun effet avec l'uranium soit en raison de la faiblesse de l'intensité, soit en raison des propriétés particulières des rayons de l'uranium.

Effets produits dans un plan perpendiculaire au champ. — La matière active recouverte d'aluminium, comme dans les expériences précédentes, était placée au milieu du champ ; autour de celle-ci on avait disposé un écran fluorescent cylindrique en enduisant de sulfate double d'uranium et de potassium l'intérieur d'un tube de verre dont l'axe, parallèle au champ, passait par la source radiante ; tous les points de l'écran étaient ainsi sensiblement à la même distance de la source et dans une direction normale au champ. Si l'on excite alors l'électro-aimant, on voit, dans les conditions particulières de l'expérience, la phosphorescence diminuer considérablement, au point de devenir à peine perceptible.

Dans une autre expérience, la matière a été placée en dessous de la partie la plus intense du champ, et un écran fluorescent plan a été disposé au-dessus, de l'autre côté du champ. Dans ces conditions, on voit l'effet changer avec le sens du courant ; pour un sens de l'aimantation, la phosphorescence s'affaiblit ; pour le sens contraire, elle se présente en une tache lumineuse plus brillante.

Exploration du champ par la photographie. — La photographie, par la netteté des détails qu'elle enregistre, a donné pour l'étude du champ des résultats bien supérieurs à ceux de la fluorescence. J'ai réalisé en particulier les expériences suivantes :

1° On place parallèlement au champ, entre les deux pôles distants

de 45 millimètres, une plaque photographique horizontale entourée de papier noir. Après avoir excité l'électro-aimant, on met sur la plaque, à égale distance des pôles, la matière radio-active. Après quelques minutes de pose, on peut développer la plaque et l'on constate que l'impression, très forte, au lieu de s'être faite uniformément autour de la source, est tout entière rejetée sur la droite du champ (à gauche pour un observateur qui regarde le pôle +). En dehors de la tache qui marque la place de la source radiante, l'impression maximum est répartie sur une zone étroite qui affecte la forme ci-contre (*fig.* 2). L'écart maximum correspond à la direction



Fig. 2.

normale au champ, passant par la source qui, dans le cas actuel, est au milieu du champ. Le maximum d'écart est aussi, dans ce cas, le maximum de l'intensité de l'impression ; de part et d'autre de ce maximum la courbe s'infléchit et rejoint les pôles presque normalement aux surfaces polaires, en des points situés à droits des centres de ces surfaces.

La courbure est d'autant moins accentuée que le champ est plus intense.

Cette expérience est identique à celle que MM. Meyer et Schweidler ont faite avec un écran fluorescent. Ces auditeurs ont signalé seulement le maximum du sommet de la courbe ; mais ils ont montré ce fait capital que l'impression était due à des rayons émis au-dessus de la plaque et ramenés sur celle-ci par l'aimant.

Les rayons émis au-dessous de la plaque donneraient la courbe symétrique; mais dans notre expérience, ils sont absorbés par le verre qu'ils ont à traverser deux fois.



Fig. 3.

2° Une seconde expérience, tout aussi importante, consiste à placer le radium près de l'un des pôles, la plaque photographique restant dans la même position que ci-dessus. L'effet obtenu est notablement différent. L'impression affecte encore la forme curviligne décrite plus haut et est tout entière à droite du champ (*fig.* 3). A côté de la tache marquant la place de la source, se trouve, à droite du champ, une tache presque aussi intense qui se rejoint à la première ; l'im-

pression va ensuite en diminuant le long de la courbe jusqu'au sommet, au milieu du champ, où elle est minimum, puis elle augmente en se rapprochant de l'autre pôle, près duquel elle est très intense, moins cependant qu'à l'autre extrémité, figurant une sorte d'image dispersée de la matière active.

Ces expériences montrent d'une autre manière l'augmentation d'action près des pôles, que j'ai indiquée au début de cette Note.

3° Si l'on fait une troisième expérience en disposant la plaque photographique comme ci-dessus et en plaçant la matière active non plus au milieu du champ ou près d'un des pôles, mais en un point quelconque de l'axe du champ, on obtient encore la courbe décrite ci-dessus ; celle-ci présente alors un maximum d'intensité en face de la source radiante, sur la même normale au champ. Ce maximum a une tendance à se rapprocher du pôle le plus voisin ; et, lorsque la matière active est à une petite distance de l'un des pôles, on voit apparaître un second maximum d'action près du pôle opposé.

Parmi les expériences que j'ai réalisées, il en est d'intéressantes qui montrent qu'un écran de plomb, arrêtant le rayonnement direct de la source sur une surface fluorescente, ou photographique, peut contourner l'obstacle ; le point où ce rayonnement curviligne vient frapper l'écran change alors avec le sens de l'aimantation.

Un faisceau limité par une petite ouverture et traversant un champ magnétique uniforme, normalement aux lignes de force, est dévié normalement à ces lignes. La mesure de cette déviation fera l'objet d'un travail ultérieur.

4° Dans un champ magnétique sensiblement uniforme, et dont l'intensité était voisine de 4.000 unités C. G. S., on a placé une petite quantité du sel de radium sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, horizontale et parallèle au champ ; puis on a disposé à angle droit, normalement au champ, une seconde plaque photographique enveloppée de papier noir, et on l'a placée dans diverses expériences, à diverses distances de la source radiante et des pièces polaires de l'électro-aimant. Après quelques minutes de pose, on obtient sur la plaque horizontale les courbes qui viennent d'être décrites, puis, sur la plaque verticale, une impression intense, limitée par une courbe qui s'enroule dans le sens du courant qui produit le champ (*fig.* 4). L'origine de cette courbe est sensiblement au point de rencontre de la plaque verticale et d'une droite passant par la source et parallèle au champ, montrant que les rayons parallèles aux lignes

de force ne sont pas déviés, ainsi que l'ont reconnu MM. S. Meyer et v. Schweidler. Ces rayons, rasant la plaque horizontale, ne donnent sur celle-ci aucune impression photographique.

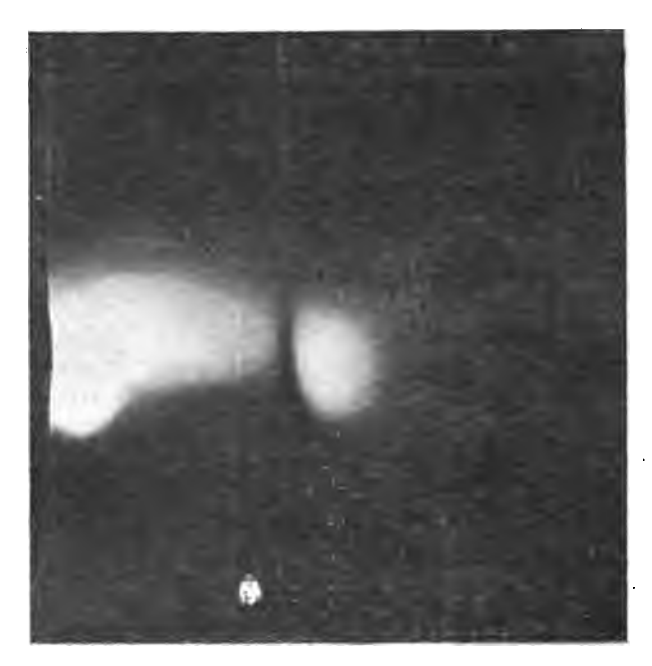


Fig. 4.

La courbe qui limite l'impression sur la plaque verticale est l'ombre, déformée par le champ, de l'intersection des plaques horizontale et verticale, qui se comportent comme des écrans partiellement opaques. La tangente à cette courbe à l'origine fait avec l'intersection des plaques, dans le sens du mouvement d'entraînement, un angle d'autant plus grand que la distance de la source à la plaque verticale est plus grande, et que le champ est plus intense.

Une prépartion de carbonate de sodium, considérablement moins active que la chlorure qui a servi aux expériences précédentes, a donné des courbes identiques à celle du chlorure dans le même champ magnétique. Le rayonnement de cette préparation ne diffère donc que par son intensité et non par sa nature.

Les expériences instituée dans le but de reconnaître si le rayon-

ment du radium était influencé par un champ électrique ont donné des résultats négatifs.

Le rayonnement du polonium préparé par M. et Mme Curie n'a manifesté, dans les conditions des expériences précédentes, et pour des champs magnétiques atteignant 10.000 unités C. G. S., aucune déviation appréciable.

Il existe donc, dans le rayonnement des corps radio-actifs, des rayonnements de deux espèces, l'un déviable, l'autre insensible à un champ magnétique (1).

J'ai vérifié que le rayonnement non déviable du polonium donnait des ombres géométriques très nettes, comme, du reste, je l'avais reconnu depuis longtemps pour le rayonnement de l'uranium, et ultérieurement pour celui du radium.

L'ensemble de ces faits, qui viennent s'ajouter à ceux qne j'avais observés avec l'uranium, ne nous fixe pas encore sur la nature de ce rayonnement, dont la spontanéité apparente et la permanence sont toujours un mystère d'intérêt.

---

(1) M. Curie vient de montrer récemment que les deux espèces de rayonnements coexistent dans le rayonnement du radium ; d'autre part, M. Giesel avait observé une déviation magnétique avec une de ses préparations de polonium.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1899.

SÉANCE DU 6 JANVIER 1899.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 16 décembre 1899 est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. GODEFROY (Raymond), professeur à l'École normale d'instituteurs de la Seine.

Sur la transformation des rayons par les différents corps simples; par M. G. SAGNAC. — M. Sagnac montre comment ses expériences sur la transformation des rayons X par la matière permettent de définir pour chaque corps et pour un faisceau de rayons X donné un *coefficient* C qui caractérise le *degré de transformation* des rayons secondaires S que le corps envoie dans la cage d'un électroscope. La méthode indiquée *isole la transformation* des rayons X de tout autre phénomène et, en particulier, de l'influence possible d'une diffusion élective simultanée. — Quelques exemples pris parmi les différents corps simples solides montrent comment le degré de transformation des rayons X, défini par le coefficient C, varie dans les mêmes conditions, d'un élément à l'autre, les plus lourds étant souvent ceux qui transforment le plus profondément les rayons X, sans que, d'ailleurs, cette remarque soit une loi générale.

L'importance de l'absorption par l'air des rayons S très transformés des métaux lourds, mise en évidence photographiquement par M. Sagnac dès le début de ses recherches, se manifeste non seulement près du métal rayonnant, mais encore à toute distance, lorsqu'on l'étudie avec précision électriquement. Cette absorption par l'air est éminemment *élective;* ainsi quelques centimètres d'air atmosphérique ne laissent passer, parmi les rayons secondaires émis par le plomb, qu'un groupe de rayons caractérisés par un coefficient C de transformation aussi faible que celui des rayons S de l'aluminium, tandis que quelques millimètres d'air laissent passer des rayons S du plomb correspondant à un coefficient C considérablement plus élevé ; ceux-ci sont bien moins pénétrants et beaucoup

plus hétérogènes que les rayons S déjà filtrés et épurés par quelques centimètres d'air. L'*hétérogénéité* du faisceau de rayons S émis par chaque élément se démontre aussi très bien par la méthode qui a permis à MM. Benoist et Hurmuzescu de démontrer les premiers l'hétérogénéité des rayons X. L'hétérogénéité du faisceau secondaire émis par un métal lourd se montre beaucoup plus grande que celle du faisceau de rayons X dont ils proviennent; la transformation des rayons X paraît, en cela, analogue à la transformation de rayons lumineux monochromatiques, par un corps luminescent, en un spectre assez étendu de rayons transformés.

M. Sagnac précise les différences fondamentales entre les aspects des deux classes de phénomènes. L'absorption élective des rayons transformables caractérise plus spécialement la luminescence. M. Sagnac a pu cependant démontrer qu'il y a, dans le faisceau incident des rayons X, un groupe de rayons qui excite plus spécialement l'émission secondaire d'un élément donné; ce sont justement les rayons qui sont plus particulièrement absorbés par cet élément. Mais ce caractère paraît bien moins marqué que dans les phénomènes de luminescence; les groupes de rayons X qui excitent plus spécialement l'émission secondaire des différents éléments sont beaucoup moins distincts les uns des autres que ne le sont les groupes de rayons lumineux des bandes d'absorption; de même, les faisceaux secondaires émis par deux éléments différents ne sont pas aussi nettement distincts que deux bandes d'émission lumineuse; cette seconde particularité tient d'ailleurs en partie à l'hétérogénéité du faisceau des rayons X incidents.

M. Ch.-Ed. Guillaume décrit une *illusion d'optiquè* consistant en une erreur dans l'estimation des distances lorsqu'un objet est vu au travers d'un réseau de mailles identiques plus petites que la distance des yeux. Si, par exemple, on regarde au travers d'un garde-feu en treillis métallique un charbon incandescent dans le foyer, on voit, en maintenant la tête immobile, le treillis reculer souvent jusqu'au niveau de la plage rougeâtre et passer même parfois derrière elle. Cette illusion est due à une fausse interprétation des images des deux yeux. Les rayons allant du point postérieur à chacun des yeux passent par des mailles différentes, et les images sont interprétées comme si les rayons passaient dans la même maille. Un faible mouvement de la tête met fin à l'illusion en montrant la distance des deux plans.

M. Guillaume présente ensuite un mécanisme d'horlogerie inventé par M. Guillerminet, horloger à Paris, et dans lequel une autre illusion d'optique est employée à l'observation d'intervalles de temps d'un cinquième ou d'un dixième de seconde. Un petit cadran additionnel remplace, sur la montre, le cadran des secondes. Il est constitué par un disque de couleur sombre percé d'ouvertures radiales équidistantes, dix par exemple. Concentriquement au-dessous de ce disque s'en trouve un autre, portant neuf bras de couleur claire. Si ce dernier disque se meut par saccades dans le sens rétrograde, les bras apparaîtront dans les

fenêtres successives, dans le sens direct. Lorsque le disque aura fait un neuvième de tour, l'aiguille figurée sera revenue à son point de départ. Ce procédé, inverse de celui qu'on emploie généralement en stroboscopie, permet de multiplier à volonté la vitesse apparente d'un objet et de diviser, dans un mécanisme, une seconde en dixièmes par des mouvements très petits qui semblent considérables.

Enfin M. Guillaume rend compte :

1° Des recherches récentes sur la *radiation d'un corps noir*. MM. Mendenhall et Saunders aux Etats-Unis, et M. Lummer et Kurlbaum en Allemagne, ont cherché à déterminer la loi de l'émission totale d'un corps incandescent constitué par une enveloppe creuse percée d'une petite ouverture. Ces derniers ont trouvé que la loi de la quatrième puissance de la température absolue — loi de Stefan — est vérifiée à 1 0/0 près, depuis les températures ordinaires jusqu'à 1500°. Les premiers n'avaient poussé la vérification que jusque vers 800°. (Voir *Johns Hopkins, University Circulars*, n° 135, et *Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin*, 17e année, n° 9.)

2° D'un travail de M. Rutherford sur les *radiations uraniques*. M. Rutherford n'a trouvé, dans les radiations de l'uranium et de ses sels ni réfraction, ni polarisation, ni radiations secondaires. Ces radiations sont complexes, et on peut isoler de l'ensemble au moins deux radiations caractérisées par des pouvoirs pénétrants très différents. Les radiations des sels de thorium, découvertes par Mme Curie, semblent plus simples. Les radiations de l'uranium ne provoquent pas de radiations secondaires appréciables. Le pouvoir de pénétration des moins absorbés est comparable à celui des rayons X provenant d'un tube mou (Voir *Phil. Mag.*, t. XLVII, p. 109 ; 1899).

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1897-1898.

Messieurs,

La Commission que vous avez nommée dans votre précédente réunion a l'honneur de vous rendre compte de l'exécution de son mandat.

Le compte de l'exercice clos le 30 novembre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1897		1 138,16
Cotisations arriérées	310	
» 1898	8 180	8 550,00
» 1899	60	
Entrées		110,00
Souscriptions perpétuelles		1 400,00
Intérêt du capital		2 064,56
Vente des publications de la Société		1 494,25
Subvention ministérielle		240,00
Remboursement de 1 obligation Est		493,36
Don de M. Canet		300,00
Total des recettes		15 790,33

Dépenses.

Loyer du siège social		600,00
Supplément pour séances extraordinaires et emploi des machines		225,60
Traitement de l'agent		2 000,00
Achat de livres		125,75
Abonnements et reliures		592,70
Indemnité pour le service de la bibliothèque		300,00
Bibliothèque circulante		60,45
Frais de bureau, étrennes, distribution du *Bulletin*		915,45
Recouvrement des cotisations		200,00
Frais d'expériences		6,75
Séance de Pâques		466,25
Entretien de la tombe de Fresnel, couronne déposée sur la tombe de M. Maurat		80,10
Gravure du *Bulletin*		201,50
Impressions Gauthier-Villars	574,55	
— Deslis Frères	4 288,70	4 863,25
Achat de 10 obligations Midi		4 760,70
Total des dépenses		15 398,50
D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1898, de		391,83
Total égal a celui des recettes		15 790,33

Si, dans le résumé ci-dessus, on laisse de côté l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles, les dons, le remboursement et l'achat des obligations, on voit que les recettes normales de la Société ont

été, pendant l'Exercice, de 12 458 fr. 81, tandis que les dépenses courantes ont atteint 10 637 fr. 80.

Il y a donc un excédent de recettes de 1 821 fr. 01 provenant en grande partie de la vente des publications de la Société, qui a dépassé de près de 1 500 francs celle des Exercices précédents.

Détail des comptes relatifs aux publications.

MM. Gauthier-Villars :

	fr.
Circulaires et impressions diverses	427,05
Expédition de volumes	107,50
Abonnement aux *Comptes Rendus* 1898	40,00
TOTAL	574,55

MM. Deslis Frères :

	fr.
Bulletin des séances	2 344,25
Ordres du jour des séances (2 avril 1897 à 1er juillet 1898)	1 762,45
Circulaires et impressions diverses	182,00
TOTAL	4 288,70

Au compte de MM. Gauthier-Villars il faut joindre une somme de 11 850 fr. 25, prix du 1er volume du *Recueil des Constantes* tiré à 1 200 exemplaires; mais ce volume, grâce à un don magnifique de 11 000 francs et à un rabais exceptionnel de 850 fr. 25, consenti gracieusement par M. Gauthier-Villars, s'est trouvé payé sans que la caisse de la Société ait eu à intervenir, sinon pour encaisser le prix de vente dudit volume.

Situation.

La situation de la Société au 30 novembre 1898 se résume ainsi :

Actif.

	fr.
158 obligations Midi, Est et Ouest, achetées 65 147 francs et valant au 30 novembre 1898	74 318,50
En caisse, au 30 novembre 1898	391,83
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	74 710,33

Passif.

Mémoires dus à MM. Deslis Frères :

	fr.	
Bulletin des séances	568,55	
Ordres du jour des séances	134,80	
Impressions diverses et envois	29,50	
		732,85
D'OU RESSORT UN EXCÉDENT D'ACTIF DE		73 977,48

Si l'on ajoute la valeur de l'actif non immédiatement réalisable, savoir:

Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars:

Coulomb	601	3680 volumes à 6 fr.	22 080,00
Ampère I	658		
— II	777		
Pendule I	776		
— II	868		
Constantes	802 volumes à 7 fr. 50		6 015,00
Cotisations à recouvrer			500,00
On obtient pour l'*avoir total de la Société*			102 572,48

Dans l'actif de la Société se trouvent comprises deux sommes provenant de dons et ayant des affectations spéciales, savoir :

Fonds Guébhard, pour la bibliothèque	9 000
Don pour le volume des Constantes	5 000

Statistique.

Au 1er décembre 1897		875 Membres
Reçus en 1898		28 —
TOTAL		903
A déduire :		
Décédés	14	36
Démissionnaires ou rayés	22	
Membres au 1er décembre 1898		867

Savoir :

406 à Paris,
305 en province,
156 à l'Etranger,

867

Les membres perpétuels sont au nombre de 256, savoir :

237 (dont 39 décédés, ayant versé 200 francs), soit	47 400
5 — 1 — 150	750
10 — 1 — 100	1 000
4 50	200
MONTANT DES SOUSCRIPTIONS PERPÉTUELLES	49 350

Pour la première fois, le chiffre des souscriptions perpétuelles, augmenté des dons reçus avec affectation spéciale (non réalisée), soit :

$$49350 + 14000 = 63350 \text{ francs},$$

se trouve inférieur à la valeur (65 147 fr.) des obligations de chemins de fer français, possédées par la Société et comptées au prix d'achat.

D'autre part, pour la première fois également, le nombre des membres de la Société, par suite du grand nombre de décès et de démissions et du petit nombre des admissions nouvelles, se trouve inférieur à celui de l'année précédente :

867 en 1898 au lieu de 875 en 1897.

Enfin un legs annoncé de 1 000 francs, fait par M. Martin (de Chartres), n'a pu être encore porté en recette ; les formalités relatives à la délivrance du legs n'étant pas encore terminées.

De même, le remboursement de 7 obligations Est (nouvelles), annoncé, n'a pu être encore porté en recette.

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier ; elle vous propose, Messieurs, d'approuver les comptes ci-dessus exposés et vous demande de vouloir bien vous joindre à elle pour exprimer à M. Gay toute la gratitude que lui inspirent le zèle avec lequel il a géré les intérêts de notre Société et le dévouement dont il n'a cessé de faire preuve dans les fonctions délicates qu'il vient de remplir.

Paris, 27 décembre 1898.

Les membres de la Commission,
GIRARDET, A. POINCARÉ et POLLARD, Rapporteur.

SÉANCE DU 20 JANVIER 1899.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 janvier 1899 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BERG (Max), Ingénieur de la maison Krauss à Paris.
COUDERT (Arthur), Professeur au lycée de Cherbourg.
MORIZE (Henri), Astronome à l'Observatoire et Professeur de Physique à l'Ecole polytechnique de Rio-de-Janeiro (Brésil).

M. LE PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, de l'Archiviste-Trésorier, du Vice-Secrétaire, et pour le renouvellement partiel du Conseil et de la Commission du *Bulletin*.

M. le Président rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1897-1898 a été adressé à tous les membres de la Société, et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. le Président proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. Cornu ;
Secrétaire général : M. Poincaré (Lucien) ;
Trésorier-Archiviste : M. de Touanne ;
Vice-Secrétaire : M. Abraham.

Membres de la Commission du Bulletin :

MM. Foussereau, Krouchkoll, Wyrouboff.

Sont élus membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. Broca (André), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine ;
Deslandres, Astronome à l'Observatoire de Meudon ;
Janet, chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central d'Electricité ;
De Romilly (Paul), Ingénieur en chef des Mines.

Membres non résidants :

MM. Bergonié, Professeur à la Faculté de Médecine de Bordeaux ;
Fabry, Professeur-Adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille ;
Lecher, Professeur à l'Université de Prague (Autriche) ;
Lussana (Silvio), Professeur à l'Université de Sienne (Italie).

M. René Benoît, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède le fauteuil à M. le colonel Bassot, Président pour l'année 1899.

Sur les radioconducteurs à limaille. — M. Edouard Branly présente à la Société de Physique un radioconducteur à limaille de fer qui lui a été adressé par M. *Olivier Lodge*.

L'éminent physicien anglais, auquel sont dus plusieurs des dispositifs employés par Marconi dans ses remarquables expériences de télégraphie sans fil, n'a pas construit ce tube comme le modèle figuré dans son Mémoire : *The Work of Hertz* (1894). Le spécimen mis sous les yeux de la Société a la forme d'une ampoule contenant de la limaille de fer comprise entre deux fils de platine qui servent d'électrodes. Le vide a été fait sur l'hydrogène. Ne disposant pas d'un relais assez délicat pour mettre en évidence le fonctionnement de ce radioconducteur, on l'intercale dans le

circuit d'un élément de pile et l'un galvanomètre. Les radiations électriques sont produites par une petite bobine d'induction de 2 centimètres d'étincelle dont le fil induit est relié à un excitateur ordinaire à deux boules. Une décharge très courte et très faible produit immédiatement la déviation du galvanomètre.

M. Branly présente ensuite quelques autres radioconducteurs à limaille préparés sur le modèle des appareils qu'il avait employés en 1891. Ce sont de simples tubes de verre dans lesquels glissent à frottement doux deux tiges métalliques entre lesquelles la limaille est intercalée. Les tiges ne sont pas scellées dans le verre, et le vide n'est pas fait dans les tubes. Le réglage s'opère en poussant très doucement les tiges à la main; avec un peu d'habitude, on arrive vite à établir le degré de contact qui détermine une légère conductibilité. On rétablit la résistance par un léger choc, et l'on se trouve dans de bonnes conditions pour faire agir efficacement la radiation électrique. Malgré cette grande simplicité de construction, on obtient ainsi des tubes extrêmement sensibles. L'expérience est faite successivement avec plusieurs tubes, notamment avec un tube à limaille d'*aluminium*, puis avec un tube à limaille d'argent. Ce choix présente un intérêt actuel. En effet, dans le tome LXVI des *Annales de Wiedemann* (1898), Dorn affirme que l'aluminium se montre insensible à l'action des ondes électriques, et il en donne la raison; dans le même volume, Aschkinass indique qu'il n'a obtenu aucune variation, sous l'influence des décharges électriques, dans la résistance des poudres d'argent ou de platine, et il en fournit aussi l'explication. Or les limailles d'aluminium, d'argent, de platine se prêtent à la construction de radioconducteurs sensibles à grande distance, sans tiges verticales, sans communication avec le sol sous l'influence de très faibles décharges, et un choc très léger leur rend leur résistance primitive.

M. Branly insiste également sur le bon parti qu'il a tiré de l'emploi des limailles d'or ou d'alliages d'or. Il termine en faisant remarquer que les conditions dans lesquelles il convient d'opérer varient avec chaque métal et qu'avant de se prononcer il est prudent de faire varier la pression, l'âge et le grain de la limaille, la section du tube et la force électromotrice de l'élément de pile dans le circuit duquel le radioconducteur est intercalé.

Décharge d'un corps électrisé par l'évaporation de l'eau. — Application à l'électricité atmosphérique. — M. Pellat rappelle que plusieurs météorologistes (Peltier, Exner) ont fait jouer dans leur théorie de l'électricité atmosphérique un grand rôle au transport dans l'atmosphère de l'électricité qui couvre le sol par la vapeur d'eau qu'il émet. Pourtant les expériences faites jusqu'ici laissaient très douteuse l'électrisation de la vapeur émise par un liquide faiblement électrisé.

M. Pellat a réussi à montrer que la vapeur qui s'échappe d'une nappe d'eau, même faiblement chargée d'électricité, emporte une certaine quantité de cette électricité et à mesurer celle-ci. Pour cela, il a étudié la

déperdition spontanée d'un système électrisé, isolé à la paraffine comprenant un vase plat en laiton et un électromètre à quadrants du système de M. Boudréaux. Chaque série comprenait au moins deux expériences comparatives, l'une faite avec le vase vide d'eau, l'autre avec le vase plein d'eau jusqu'au bord, à la température ordinaire. La charge initiale (fournie par une pile de 155 ou 116 volts) était exactement la même dans les expériences comparatives, ainsi que la durée d'observation ($1^h 25^m$ à $1^h 45^m$).

Le résultat des expériences a été que toujours la déperdition est plus grande quand le vase est plein d'eau. Celles-ci ont été croisées et variées pour éliminer les causes d'erreur. La mesure, au moyen d'un plan d'épreuve, du rapport de la charge d'une surface égale à celle de l'eau électrisée à la charge totale du système a permis de déduire la vitesse de déperdition $\left(v = -\frac{1}{m}\frac{dm}{dt}\right)$ par le fait de l'évaporation seule. On a pu voir par là que, si la charge de l'eau n'était pas renouvelée, en une heure une fraction égale ou supérieure à la moitié de la charge initiale aurait disparu, emportée par la vapeur.

Il résulte de là que nécessairement la vapeur qui se forme sur le sol par l'action du Soleil doit entraîner dans l'atmosphère une fraction notable de la charge de celui-ci; on doit en conclure, d'après les lois de l'électrostatique, qu'une diminution proportionnelle se produira pour le champ électrique près de la surface du sol, quantité mesurée par les appareils des observatoires. C'est précisément le résultat donné par les courbes moyennes dans la saison ensoleillée : il y a un minimum du champ dans les heures chaudes de la journée.

M. Pellat appelle aussi l'attention sur la production de l'électricité par les combustions : les fumées qui sortent des cheminées sont chargées (négativement le plus souvent). Il y a là une cause perturbatrice pour les observations faites dans les villes.

Spectroscope catadioptique à grande dispersion et lunette fixe. — MM. Pellin et Broca présentent un spectroscope à grande dispersion et lunette fixe dans lequel la déviation minima est remplacée par une déviation fixe. Ceci avait été déjà réalisé en mettant à la suite du prisme un miroir. La propriété tient à ce que, si on prend la symétrique d'une droite par rapport à une droite, puis la symétrique de cette première symétrique par rapport à une autre droite, les deux droites initiale et finale font entre elles un angle double de celui des deux droites de symétrie. Or un rayon réfracté au minimum est symétrique de l'incident par rapport à la base du prisme; si donc on lui ajoute une réflexion, les rayons extrêmes feront un angle double de celui du miroir et de la base. Le système ainsi construit est peu commode. On peut le rendre pratique en produisant une réflexion totale à l'intérieur du verre et prenant comme face de sortie l'image dans ce miroir de la seconde face du prisme à 60°, d'où l'instrument dérive. Dans ces conditions on peut donner au rayon qui jouit des

propriétés du minimum telle déviation qu'on veut. La plus pratique est celle à 90°. Dans ces conditions, la lunette est à 90° du collimateur; il suffira de faire tourner le prisme pour voir défiler le spectre au réticule. On peut placer à la suite l'un de l'autre une série de ces prismes, le second donnant la vision directe avec parallaxe, le troisième la vision à 90°, le quatrième la vision directe sans parallaxe. Il suffira, comme mouvement de faire tourner les prismes autour de centres placés aux sommets d'un rectangle, les pairs dans un sens, les impairs en sens inverse. Un simple parallélogramme suffit donc. Dans cet instrument toute l'étendue des faces est toujours utilisée. Il se prête aussi à l'adaptation d'un système de lecture très simple. En faisant porter à chaque prisme un miroir convenable, on peut faire subir à l'image du micromètre autant de réflexions qu'il y a de réfractions au minimum. Dans ces conditions, la vitesse de rotation d'une raie sera égale à celle du micromètre et si un des prismes a un temps perdu, l'erreur sur le micromètre sera identique à celle sur la raie, la lecture ne changera donc pas. Le micromètre et la raie vont en sens inverse, à cause de certaines nécessités de construction. Mais cela n'empêche aucunement l'emploi commode de l'instrument, la lecture se faisant quand une raie est à la croisée des fils du réticule. Il suffit pour l'y amener de tourner un bouton qui commande à la fois tous les prismes et les miroirs.

Chacun des prismes peut se démonter facilement par une seule vis. On peut alors, en plaçant la lunette à des repères fixes, opérer successivement avec un, deux, trois ou quatre prismes. En employant une lunette auto-collimateur et plaçant un miroir à la place de l'objectif du collimateur, on peut, en conservant à l'instrument ses propriétés, opérer avec la dispersion de huit prismes.

SÉANCE DU 3 FÉVRIER 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 janvier 1899 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. ALLAIRE, chef des travaux de physique à l'Ecole de Médecine de Nantes;
BOURGEOIS (R.), chef d'escadron d'artillerie breveté, chef de la section de géodésie au Service géographique de l'Armée, à Paris;
COGNET (Alfred), professeur au collège de Bergerac;
FRUH (Eugène), à Paris;
GELLÉ (Joseph), professeur au collège Saint-Grégoire, à Tours;
GILLES (A.), inspecteur de l'Université, à Paris;
HAMY (Maurice), astronome-adjoint à l'Observatoire de Paris;
HERMANN (A.), éditeur-libraire, à Paris.

M. le Président propose à la Société de rendre hommage au zèle et au dévouement dont ont fait preuve le Secrétaire général et l'Archiviste-Trésorier sortants dans l'accomplissement de leurs fonctions, en conférant à M. Pellat le titre de Secrétaire général honoraire, et à M. Gay celui d'Archiviste-Trésorier honoraire. Cette proposition est votée par acclamation.

M. Cornu, élu Vice-Président;

M. Lucien Poincaré, élu Secrétaire général; M. de la Touanne, élu Archiviste-Trésorier; M. Abraham, élu Vice-Secrétaire; MM. Broca, Bergonié, Deslandres, Fabry, Janet, Lecher, Lussana, Paul de Romilly, élus Membres du Conseil; MM. Foussereau, Krouchkoll, Wyrouboff, élus membres de la Commission du *Bulletin*, adressent leurs remerciements à la Société.

Nouvelle classification des corps simples; par M. Delaunay. — M. Pellat présente, au nom de M. Delaunay, professeur de mécanique à Novo-Alexandria (Russie), une *nouvelle classification des corps simples*, qui paraît être un perfectionnement de la classification de Mendeleeff.

M. Delaunay divise les circonférences en seize parties égales et même les seize rayons correspondant aux points de division. Rangeant les corps simples dans l'ordre des poids atomiques croissants et appelant *numéro d'ordre* le rang qu'occupe le corps simple dans cette classification, il porte sur chaque rayon, à partir des centres, une longueur proportionnelle au poids atomique en mettant chaque corps simple sur les rayons successifs d'après les numéros d'ordre. On obtient ainsi une disposition spiralée.

M. Delaunay fait les remarques suivantes :

1° Sur chaque diamètre se trouvent les corps simples, en général de la même famille;

2° Sur un même diamètre, pris comme diamètre horizontal et appelé *ligne neutre*, se trouvent les corps simples (He, Ar, Ne, Kr); dans la partie supérieure du diagramme se trouvent alors tous les corps *paramagnétiques;* dans la partie inférieure tous les corps *diamagnétiques;*

3° Si l'on divise en quatre quadrants le diagramme, en ajoutant au diamètre horizontal le diamètre vertical, deux quadrants opposés renferment les métalloïdes ou les métaux qui donnent des acides en se combinant avec l'oxygène; les deux autres quadrants opposés renferment les métaux qui ne donnent guère que des buscs;

4° Si tous les points correspondant aux divers corps simples étaient rigoureusement sur une spirale d'Archimède, en portant en abscisse le numéro d'ordre (x) et en ordonnée le poids atomique (y), tous les points seraient en ligne droite. Il n'en est pas tout à fait ainsi. Les poids atomiques au-dessous de 40 se groupent autour d'une ligne droite, et ceux qui sont au-dessus de 40 autour d'une autre ligne droite qui n'est pas dans le prolongement de la première.

Sur la lunette de 60 *mètres et son sidérostat, construits par M. Gautier et devant figurer à l'Exposition de* 1900. — M. Carvallo expose les travaux de M. Gautier, constructeur de la puissante lunette de 60 mètres qui doit figurer à l'Exposition de 1900.

M. Gautier, qui a renouvelé le matériel de nos observatoires et fourni de nombreux instruments à la géodésie, a fixé l'attention de la Société par un magnifique goniomètre construit pour le laboratoire de M. Bouty et qui a été exposé ici, en avril 1897. L'entreprise ayant été fondée de rehausser l'éclat de l'Exposition de 1900 par une lunette d'une puissance incomparable, c'est M. Gautier qui s'est trouvé tout désigné pour réaliser ce vaste projet.

La puissance de la lunette réside dans l'objectif, dans l'intensité et la finesse des images qu'il fournit à son foyer. L'intensité est proportionnelle au carré D^2 de son diamètre. Pour la finesse, la théorie de la diffraction montre qu'elle est proportionnelle à D. Ainsi le diamètre fournit, aux deux points de vue, la puissance de la lunette. Il convient de le prendre aussi grand que le permet l'industrie du verre. L'objectif tout à fait exceptionnel qui a figuré à l'Exposition de 1889 et qui appartient à l'observatoire de Chicago, a $1^m,05$ d'ouverture. Il fallait le dépasser : on a adopté $1^m,25$. Le diamètre D fixé, il faut choisir la distance focale F. L'expérience a montré que F doit croître plus vite que D, sous peine de perdre, par les aberrations, la finesse recherchée par les grands diamètres. M. Carvallo expose qu'on doit admettre pour F une valeur proportionnelle à $D^{3/2}$. La valeur adoptée (60 mètres) rend le rapport $\frac{D^{3/2}}{F}$ inférieur à celui des meilleures lunettes antérieures. On peut donc espérer que, conformément au calcul, on pourra distinguer deux points du ciel distants de 0″,1, soit 187 mètres sur la lune.

Il ne faut pas songer à faire suivre le mouvement diurne par une si grande lunette, avec sa coupole. Elle sera fixe, et la lumière sera envoyée suivant son axe par un *sidérostat* dont le principe est celui qui est décrit dans l'ouvrage de Jamin sous le nom de S'Gravesande. Le miroir, en verre, a 2 mètres de diamètre, 27 centimètres d'épaisseur et pèse 3.600 kilogrammes; il repose dans un barillet dont les tourillons portent sur deux montants d'un support mobile autour de son axe vertical. Cette partie, à deux axes de mobilité, assure le pivotement du miroir autour de son centre, sous l'action de l'axe horaire mû par un mouvement d'horlogerie. Elle pèse 15.000 kilogrammes dont les $\frac{9}{10}$ flottent sur une cuve à mercure. Le miroir est argenté sur place; on le met la face en bas, et on soulève jusqu'à lui le bain d'argenture, à l'aide d'un cric. Des vis sont disposées pour permettre tous les réglages du sidérostat.

La lunette possède deux objectifs achromatisés, l'un pour la vue, l'autre pour la photographie; ils sont disposés sur une même monture, mobile sur rails, de façon qu'on puisse amener l'un ou l'autre devant l'axe du tube de

la lunette. L'oculaire est une sorte de wagon, mobile sur rails pour la mise au point; il est réuni au tube de la lunette par un soufflet et une vis de rappel de 1m,50. Avec trois mouvements circulaires et trois mouvements rectilignes, il offre les dispositions propres à tous les usages de l'astronomie physique et de la mécanique céleste.

En terminant, M. Carvallo expose la méthode purement mécanique établie par M. Gautier pour le travail des grandes surfaces optiques. On suit le travail du miroir en visant avec une lunette et sous une incidence presque rasante (3°) l'image d'un point lumineux. La qualité des images montre que M. Gautier a résolu d'une façon tout à fait satisfaisante le difficile problème qu'il s'était proposé. Ces images présentent des anneaux de diffraction qui sont à centre blanc ou noir, suivant qu'on est en-deçà ou au-delà du foyer; M. Carvallo explique ce fait en invoquant la découverte de M. Gouy sur le changement de phase d'une onde au passage d'un foyer.

Une maquette de la lunette de 60 mètres et du sidérostat est mise sous les yeux de la Société, et M. Pellin projette les photographies représentant les différentes pièces de lunette, la machine à travailler mécaniquement les surfaces optiques et une vue du Palais de l'Optique due à l'architecte distingué M. P. Bobin.

M. H. Becquerel expose ses recherches récentes *sur la dispersion anomale de la vapeur de sodium et quelques conséquences de ce phénomène;* il rappelle d'abord comment il a été conduit à s'occuper de la dispersion anomale dans le but de vérifier l'application d'une formule qu'il avait établie et d'après laquelle le pouvoir rotatoire magnétique des corps serait proportionnel à l'expression $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$, n représentant l'indice de réfraction, et λ la longueur d'onde des vibrations lumineuses considérées. Une expérience faite par MM. Macaluso et Corbino ayant montré que la vapeur de sodium incandescente possède un pouvoir rotatoire magnétique considérable pour les radiations très voisines de D_1 et D_2, M. H. Becquerel en a conclu que cette vapeur devait avoir également une dispersion anomale considérable. Pour mettre le fait en évidence, il a disposé l'expérience des *prismes croisés*, au moyen d'un réseau et de la flamme d'un brûleur Bunsen, rendue prismatique par l'interposition d'une petite gouttière en platine. Cette flamme, qui équivaut à un prisme dont l'arête serait horizontale, est placée entre un collimateur à fente horizontale et une lentille qui projette l'image de cette fente sur la fente verticale d'un spectroscope à réseau. Si l'on éclaire la première fente par de la lumière blanche, on reconnaît que le spectre continu formé au foyer du spectroscope montre les raies D_1 et D_2 renversées et qu'il est fortement disloqué; l'image des bords de la fente horizontale présente des courbes qui donnent les variations des indices de réfraction en fonction de la longueur d'onde. Ces courbes coïncident avec celles qu'on déduirait de la théorie de la dispersion anomale. Elles ont pour asymptotes les raies D_1 et D_2; leur équation, au voisinage immédiat de D_1

et D_2, équivaut à celle qui résulte de la superposition de deux hyperboles équilatères, le paramètre relatif à D_2 étant le double de celui de D_1.

Des photographies des spectres obtenus sont projetées devant la Société.

Les indices de réfraction mesurés ont été, d'une part, plus grands que l'unité, atteignant ou dépassant 1,0009 et, d'autre part, plus petits que l'unité, atteignant 0,9986. Pour les longueurs d'onde qui, dans l'expérience de MM. Macaluso et Corbino, correspondent à des rotations magnétiques égales, les tangentes aux courbes de dispersion anomale sont sensiblement parallèles, ce qui justifie l'application de la formule rappelée plus haut et conduit à rejeter d'autres formules théoriques proposées antérieurement.

Enfin on explique très simplement une expérience récente de M. Voigt: on dispose dans un champ magnétique une flamme de sodium; on la fait traverser, dans une direction perpendiculaire au champ, par de la lumière polarisée à 45° du champ; on reçoit cette lumière sur un compensateur de Babinet, puis sur un spectroscope et un nicol; on reconnaît que les franges du compensateur sont déformées et que la flamme est biréfringente. M. H. Becquerel, en disposant une flamme prismatique de sodium dans un champ magnétique et en étudiant la dispersion anomale dans ces conditions, a reconnu que les courbes de dispersion anomale suivent les dédoublements des raies dus au phénomène de Zeeman; comme les dédoublements des raies D_1 et D_2 sont inégaux pour les vibrations perpendiculaires au champ et pour les vibrations parallèles, il en résulte que, pour une longueur d'onde déterminée, les vibrations parallèles au champ et les vibrations perpendiculaires n'ont plus les mêmes indices de réfraction et que la flamme devient biréfringente. M. H. Becquerel donne l'équation des courbes obtenues dans l'expérience de M. Voigt, conséquence de l'existence simultanée du phénomène de Zeeman et de la dispersion anomale.

SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1899.

Présidence de M. le général Bassot.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 février 1899 est lu et adopté.

M. le Président exprime les tristes sentiments qu'inspire aux membres de la Société la mort soudaine du Président de la République; tous les assistants se lèvent en signe de deuil.

M. Pellat, élu secrétaire général honoraire, et M. Gay, élu trésorier-archiviste honoraire adressent leurs remerciements à la Société.

M. le Secrétaire général annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique présidera, le 8 avril, la séance de clôture du XXXVII[e] Congrès des Sociétés savantes, qui s'ouvrira à Toulouse, en l'Hôtel d'Assézat, le 4 avril. La Société de Géographie de Toulouse organise, pour cette époque, une Exposition scientifique d'appareils de mesure du temps et des angles divisés suivant le système décimal.

Sur la loi des états correspondants. — Dans un mémoire adressé à M. le Secrétaire général, M. Moulin, partant de l'expression des actions moléculaires établie dans sa communication du 7 février 1896 (1), prend comme équation caractéristique la suivante:

$$pmv \,.\, \varphi(\omega) = RT - \frac{b_1\omega^2}{(m)^{\frac{1}{3}} \,.\, \omega} + \frac{R'T}{(m)^{\frac{1}{3}}\omega^2}, \tag{1}$$

où p est la pression par unité de surface, v le volume spécifique, T la température absolue, m la masse moléculaire, ω^3 le rapport du covolume supposé variable au volume moléculaire, R le coefficient habituel, b_1 et R' deux nombres.

Il admet que ω, invariable avec la pression, varie avec la température d'après la relation suivante :

$$\omega_0 = \omega \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha_1 T} = \omega \left(1 + \frac{(\alpha_1 - \alpha)\, T}{1 + \alpha_1 T}\right), \tag{2}$$

α étant le coefficient de dilatation du covolume, α_1 celui du volume apparent, et, vu la variation lente de α et α_1, il prend pour $(\alpha_1 - \alpha)$ une valeur moyenne suffisante entre les températures essayées. Pour déterminer la relation entre ω et les éléments que donne l'expérience, il applique à son équation caractéristique la méthode de Clausius basée sur le principe de Carnot.

Il imagine une substance type où ω serait fixe, c'est-à-dire où le covolume et le volume moléculaire seraient constamment égaux. En affectant de l'indice H les éléments de cette substance théorique, de l'indice A ceux de la substance expérimentale A, il arrive à l'expression suivante de la règle des états correspondants :

$$\left(\frac{T}{T_c}\right)_A = \left(\frac{T}{T_c}\right)_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)_A^2, \tag{3}$$

$$\frac{v^{\frac{1}{3}}T}{v^{\frac{1}{3}}T_c} = \left(\frac{v^{\frac{1}{3}}T}{v_c^{\frac{1}{3}}T_c}\right)_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_3}\right)_A. \tag{4}$$

En appliquant aux atomes du noyau et du volume moléculaire la théorie cinétique et tenant compte de l'état déformable et sous tension de l'enve-

(1) Voir *Bulletin des Séances de la Société de Physique*, p. 45, année 1896.

loppe, il trouve enfin que $\varphi(\omega)$ peut être mise sous la forme $\frac{1}{Q\omega^3}$, Q étant une constante. L'équation (1), qui donne p, est ainsi ramenée à la forme suivante :

$$\frac{pmv}{Q\omega^3} = RT - \frac{b_1\omega^2}{s^2} + \frac{R'T}{s^3}. \qquad (5)$$

Les équations (2), (3), (4), (5) résolvent complètement la question.

Influence du magnétisme sur la conductibilité calorifique du fer. — M. D. Korda a étudié la question au point de vue théorique et expérimental. Les expériences ont porté sur des disques et des tiges de fer doux. Les disques sont chauffés en leur centre, et la forme des isothermes est donnée par la fusion d'une mince couche de paraffine; ils reposent, convenablement isolés, sur un électro-aimant vertical dont la ligne des pôles est orientée suivant un de leurs diamètres. Quand on excite l'électro-aimant, on obtient, avec un grand disque, une isotherme elliptique dont le grand axe a sensiblement même longueur que le diamètre du cercle qu'on obtenait précédemment et dont le petit axe, qui est dirigé suivant le champ, est plus court de 12 0/0; avec des disques plus petits, on obtient des lemniscates. Pour les tiges qui sont placées dans l'axe d'une bobine, on chauffe l'axe de leurs extrémités et on place au voisinage de l'autre une soudure thermoélectrique ou un conducteur, placé dans un pont de Wheatstone, dont on suit la variation de résistance; on opère par opposition avec une deuxième tige non aimantée. Le résultat général est que *la conductibilité calorifique du fer doux éprouve une diminution dans la direction des lignes de force magnétiques et reste, par contre, sans changement dans la direction des lignes équipotentielles, indépendamment de la force magnétisante.*

Ce dernier résultat semble indiquer que l'affaiblissement de la conductibilité dépend d'une puissance paire de la force magnétisante. En partant de l'expression, donnée par Maxwell, des efforts dus à un champ magnétique H, on peut, en appliquant les principes de la thermodynamique, calculer, pour la chaleur latente d'aimantation q à température constante T, dans un corps de perméabilité μ, la valeur

$$q = \frac{H^2}{4\pi} \cdot \frac{T}{E} \frac{d\mu}{dT};$$

q est la mesure de l'effet constaté par voie expérimentale; il est proportionnel à H^2; l'effet est nul, normalement au champ, dans un disque ou une tige.

M. Mascart fait observer qu'il ne suffit pas qu'un effet soit indépendant de la direction du champ magnétique pour qu'on soit autorisé à penser qu'il est proportionnel au carré de ce champ, M. P. Curie ayant montré qu'un champ magnétique n'a pas la symétrie d'une force, mais celle d'un corps tournant.

M. KORDA rappelle que M. Heaviside a développé une théorie électro-magnétique, dans laquelle c'est, au contraire, le champ électrique qui est considéré comme rotatoire.

Sur l'action des rayons X. — M. P. VILLARD présente une série de clichés montrant que la lumière détruit l'impression produite par les rayons X sur le gélatino-bromure d'argent. Il se passe alors quelque chose d'analogue au phénomène de renversement observé par E. Becquerel avec une plaque daguerrienne exposée aux rayons rouges extrêmes après impression préalable par les rayons bleus, et cela paraît justifier l'hypothèse que les rayons X ne diffèrent de la lumière que par la période. Ce phénomène de destruction doit également être rapproché de celui auquel donnent lieu les écrans au platinocyanure de baryum, car on peut l'observer sans faire intervenir le révélateur; mais il est alors peu apparent.

Les résultats semblent être les mêmes, au moins dans leur ensemble, avec toutes les préparations commerciales. Avec certaines émulsions, leur netteté est telle que la plus faible impression lumineuse capable de produire un effet appréciable se traduit, au développement, par un affaiblissement du noir donné par les rayons X. Il est d'ailleurs évident qu'une exposition par trop insuffisante à l'action de ces derniers donnera des effets intermédiaires faciles à prévoir.

Les rayons destructeurs les plus actifs sont en premier lieu ceux qui agissent le plus énergiquement sur les plaques ordinaires (groupe du bleu et de l'indigo). Un deuxième groupe efficace présente un maximum d'action dans le rouge, un minimum peu marqué dans le vert, et s'étend avec certaines émulsions jusqu'à $\lambda = 900$. Les rayons de cette partie du spectre sont assez actifs pour produire la destruction au travers de trois feuilles de papier noir épais, à 50 centimètres d'un bec Auer. Dans les mêmes conditions une plaque neuve ne s'impressionne pas.

En raison de leur netteté, ces phénomènes se prêtent à diverses expériences photographiques. Une plaque sensible exposée aux rayons X constitue virtuellement une sorte de tableau noir sur lequel la lumière peut dessiner en blanc; si on l'utilise dans un appareil photographique ordinaire, on obtiendra une épreuve positive directe, qu'il faut naturellement regarder par le côté verre pour voir les objets dans leur position réelle. La pose doit toutefois être assez longue (15 à 30 secondes). L'image est d'autant meilleure que la plaque est devenue presque panchromatique. Le développement peut s'effectuer à la lumière d'une bougie, le voile n'étant pas à craindre, étant donné le sens dans lequel agit maintenant la lumière.

On peut également reproduire directement un cliché sur verre, un positif par exemple; on obtient alors le positif symétrique qui convient pour certaines applications.

Inversement, si on fait une radiographie ordinaire, et qu'avant de développer on expose la plaque à la lumière, celle-ci donnera du blanc *là où* ont agi les rayons X, du noir sur les régions protégées par les objets

radiographiés. Le développement peut évidemment se faire en pleine lumière, puisque l'action de celle-ci se localise d'elle-même. On obtient ainsi une radiographie positive avec toutes ses demi-teintes.

Divers clichés, photographies positives directes, reproductions de positifs sur verre, radiographies, sont projetés par les soins de M. Pellin.

M. Sagnac remarque qu'il convient de distinguer dans les actions photographiques : 1° la décomposition chimique visible éprouvée par la préparation photographique sous l'action prolongée de la lumière ; 2° la modification invisible (*image latente*) sans trace de décomposition, éprouvée en un temps relativement très court.

A l'appui de cette distinction, M. Sagnac rappelle ce fait : une plaque photographique que l'action prolongée de la lumière a fini par brunir légèrement demeure sensiblement aussi claire quand on la plonge dans le bain de développement, tandis qu'une plaque impressionnée pendant un temps beaucoup plus court, de manière à ne déceler aucune trace de décomposition chimique noircit très fortement dans le bain révélateur. L'ensemble des faits conduit à penser que la première phase de l'action de la lumière, la formation de l'*image latente*, correspond à une modification de la couche sensible, assez différente de la décomposition chimique ultérieure [1].

M. Villard répond que cette distinction, parfaitement fondée, ne lui semble pas de nature à faire rejeter l'expression d'action chimique, depuis longtemps consacrée par l'usage. Il n'est d'ailleurs pas démontré qu'il ne se passe aucun phénomène chimique là où il n'y a ni modification visible, ni décomposition de la matière impressionnable.

Les phénomènes étudiés sont d'ailleurs entièrement analogues à ceux que présente le platinocyanure de baryum en l'absence de tout révélateur. Dans la fluorescence même, phénomène en apparence purement physique, des modifications importantes se produisent par la présence d'un corps capable d'agir chimiquement sur la substance fluorescente.

SÉANCE DU 3 MARS 1899.

Présidence de M. le général Bassot.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 février 1899 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Deloncle (François), Ministre plénipotentiaire, à Paris.
Gautier, Constructeur d'instruments de précision, à Paris.
Poincaré (Henri), Membre de l'Institut, à Paris.

(1) Voir à ce sujet : G. Sagnac, *Comptes Rendus* du 19 juillet 1897 ; *Revue générale des Sciences*, du 30 avril 1898.

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société de Physique vient de faire en la personne de M. *André Pillon*, Ingénieur des Arts et Manufactures, l'un des successeurs de la Maison Deleuil.

M. le Secrétaire général présente un *Traité d'analyse chimique quantitative par électrolyse*, offert à la Société par l'auteur M. Riban.

Sur une forme de la fonction $f(pvt) = 0$ relative aux fluides. — Application de l'acide carbonique. — M. Amagat expose les résultats de l'essai qu'il vient de faire d'une nouvelle forme de fonction $f(pvt) = 0$ relative aux fluides. N'ayant pu réussir à représenter convenablement le réseau de l'acide carbonique au moyen de la formule qui lui avait permis de représenter d'une façon satisfaisante la partie connue du réseau de l'hydrogène, il a été conduit à substituer au terme dit pression intérieure dans le type de fonction généralement adopté, l'expression $\frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}$ à laquelle conduit la théorie du viriel des forces intérieures ; le covolume disparaît alors ; on est conduit à la forme $\left(p + \frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}\right)v = \mathrm{RT}$ (1) identique, du reste, avec l'équation bien connue $\frac{3}{2}\left(p + \frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}\right) = \mathrm{KT}$, puisque K et R sont des constantes. M. Amagat avait déjà étudié les variations de cette fonction $\frac{\Sigma r\varphi(r)}{3v}$ quand on fait varier la température et la pression ; en exprimant les lois de ces variations, il arrive à la représenter par l'expression qui, substituée à sa place dans l'équation (1), conduit à la formule suivante :

$$\left(p + \frac{v - \left(a + m(v-b) + \frac{c}{v-b}\right)}{kv^{2.85} - \alpha + n\sqrt{(v-\beta)^2 + d^2}}\right)v = \mathrm{RT}'.$$

Le covolume, qui semblait avoir disparu, reparaît en réalité sous une autre forme ; l'examen du terme $\frac{c}{v-b}$ montre facilement, en effet, que toute valeur de v inférieure à b conduit à des valeurs de la pression intérieure dépourvues de sens, b fonctionne donc comme covolume. M. Amagat a dressé un tableau comparatif des résultats de l'expérience et de ceux calculés par la formule ci-dessus, montrant que, dans toute l'étendue du réseau de l'acide carbonique, tant pour l'état liquide que pour l'état gazeux jusqu'à 258° et 1.000 atmosphères, la concordance est aussi satisfaisante qu'on pouvait l'espérer ; il montre ensuite que les données relatives aux densités de vapeur et de liquide à saturation et aux tensions maxima, sont aussi représentées par la même formule avec un degré d'approximation également satisfaisant, si on tient compte des difficultés particulières à l'état de saturation. Enfin, à propos de R qu'il fait égal à 0,00368, il montre que ce terme se réduirait à $\frac{1}{273}$, si on choisissait pour unité de

masse celle qui conduirait à une valeur de pv égale à l'unité à zéro et sous une pression extrêmement faible et que c'est à cette masse qu'il conviendrait de rapporter les réseaux et les formules (au lieu de la masse pour laquelle, à zéro, on a $p = 1$ et $v = 1$).

Les masses ainsi déterminées pour les différents gaz seraient celles pour lesquelles le volume serait le même à zéro et sous une même pression extrêmement faible, c'est-à-dire dans les conditions où les gaz peuvent être considérés comme parfaits.

Théorie moléculaire du frottement des solides polis, par M. Marcel Brillouin. — 1° C'est une opinion assez répandue que les phénomènes auxquels donnent lieu des systèmes purement mécaniques, conservatifs, sont essentiellement réversibles ; cependant il n'en est rien, et des phénomènes irréversibles peuvent prendre naissance entre deux points matériels dont les actions mutuelles dépendent de leur seule distance. Il suffit, pour le montrer, de décrire une expérience extrêmement banale, à titre d'exemple.

2° Une aiguille aimantée M est suspendue par un fil de torsion ; elle prend une orientation définie sous l'action du champ terrestre et du champ produit par un aimant A dans une certaine position A_0.

Déplaçons *lentement* l'aimant A ; à chaque position et orientation de cet aimant correspond une position d'équilibre de l'aiguille M ; et si le déplacement de l'aimant A est suffisamment lent, l'aiguille M passe par ses positions successives d'équilibre, sans vitesse. Ramenons l'aimant A dans sa position primitive A_0, l'orientation d'équilibre de l'aiguille M redevient la même qu'au début. Dans le trajet fermé parcouru par l'aimant A, il n'y a eu, au total, aucun échange d'énergie entre l'aimant A et l'aiguille M.

Tel est le cas lorsque toutes les positions d'équilibre de l'aiguille M, déviée par l'aimant A, sont stables.

3° Répétons maintenant l'expérience en approchant assez l'aimant A de l'aiguille M pour qu'une partie des positions de l'aiguille soient instables. A mesure qu'on approche l'aimant A, l'aiguille dévie de plus en plus, puis brusquement, au moment où sa position déviée devient instable, elle se met à osciller autour d'une autre position d'équilibre stable. L'énergie oscillatoire ainsi acquise se conserve pendant le reste du parcours de l'aimant A ; lorsque celui-ci est revenu à sa position initiale A_0, l'orientation d'équilibre de l'aiguille M est bien redevenue la même qu'au début ; mais l'aiguille n'y est pas immobile, quelque lentement que le chemin fermé ait été parcouru par l'aimant A. Du travail a été perdu par l'appareil moteur de l'aimant A et a été transformé en énergie oscillatoire de l'aiguille M.

4° Dans le parcours également lent du même chemin fermé, en sens inverse, bien loin de ramener l'aiguille au repos, on augmente son énergie cinétique pendant le passage par les positions instables.

Par la répétition du même parcours, dans le même sens, l'énergie cinétique de l'aiguille croît proportionnellement au nombre des cycles. La

quantité constante dont s'accroît l'énergie de l'aiguille à chaque cycle dépend de la forme du parcours dans sa partie instable et du sens du parcours.

5° La théorie mécanique des phénomènes de ce genre est extrêmement simple et permet d'établir rigoureusement : 1° le caractère irréversible des échanges d'énergie entre un système rigide et un système mobile, lorsqu'une partie des positions d'équilibre du système mobile est instable ; 2° le caractère purement additif des accroissements d'énergie cinétique du système mobile par la répétition infiniment lente du même cycle.

6° Dans un plan situé au voisinage immédiat de la surface d'un corps formé de molécules séparées dont les actions sont des fonctions de la distance, la fonction des forces est rigoureusement ou approximativement périodique, suivant que le corps est cristallisé ou amorphe; elle présente un très grand nombre de maxima et de minima; il y a donc, pour une molécule extérieure libre, un très grand nombre de positions d'équilibre stable séparées par des positions d'équilibre instable ; il en est de même pour une molécule faiblement reliée à une position fixe. Une translation lente du corps devant la molécule extérieure équivaut donc au parcours répété d'un même cycle, partiellement instable si la molécule est assez proche de la surface. A chaque cycle, c'est-à-dire chaque fois que le corps a avancé d'une distance moléculaire, la force vive de la molécule extérieure augmente d'une même quantité. Cette augmentation de force vive de la molécule, aux dépens du travail moteur appliqué au corps correspond exactement, au point de vue de la *théorie mécanique* de la chaleur, à la conversion du travail de frottement en chaleur.

Le frottement des solides polis pressés l'un contre l'autre, loin d'être en contradiction avec l'hypothèse moléculaire, en est donc une conséquence nécessaire.

7° La plupart des phénomènes physiques et chimiques irréversibles peuvent être rattachés à l'existence d'états d'équilibre instable; l'étude détaillée en sera publiée prochainement dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

Les rayons de Becquerel et les corps radio-actifs. — M. Curie rend compte des recherches de Mme Curie et des siennes propres sur les rayons de Becquerel.

Mme Curie a employé dans ses recherches la méthode électrique : elle mesurait la conductibilité de l'air entre deux plateaux métalliques parallèles, lorsque l'un des plateaux est recouvert d'une couche mince d'une substance radio-active, telle que l'uranium. La mesure du courant se faisait à l'aide d'un électromètre et d'un quartz piézo-électrique.

Le courant entre les plateaux croît avec le champ, d'abord rapidement pour les champs faibles, puis de plus en plus lentement pour les champs forts. C'est le courant relatif à des champs forts qui a servi le plus souvent dans les recherches sur les substances radio-actives. Ce courant augmente

avec la distance des plateaux; mais les couches d'air voisines de la substance radio-active sont les plus efficaces.

Les divers composés de l'uranium sont tous actifs et le sont en général d'autant plus qu'ils renferment moins de substances étrangères. Mme Curie a trouvé que les composés du thorium sont également radio-actifs et que leur radio-activité est du même ordre de grandeur que celle des composés de l'uranium. En examinant les divers corps simples, on n'en trouve pas d'autres qui soient radio-actifs.

La propriété d'émettre des rayons de Becquerel est donc une propriété atomique de l'uranium et du thorium; les effets de ces deux métaux sont affaiblis par toute substance qui leur est chimiquement combinée ou simplement mélangée.

Cependant la pechblende, la chalcolite et quelques autres minéraux ont une radio-activité plus forte que celle de l'uranium métallique. Mme Curie a émis alors l'hypothèse que ces substances renferment des corps radio-actifs inconnus et plus actifs que l'uranium et le thorium.

M. et Mme Curie ont recherché ces substances inconnues en attaquant la pechblende par les acides et en suivant les méthodes analytiques ordinaires. Ils ont trouvé ainsi que la pechblende renferme une substance radio-active voisine du bismuth. Ils ont appelé *polonium* ce métal nouveau qu'ils supposent exister dans la pechblende et dont la radio-activité est très grande.

Dans une nouvelle série de recherches, M. et Mme Curie et M. Bémont ont trouvé une seconde substance fortement radio-active, qu'ils ont appelée *radium* et qui est un métal voisin du baryum.

Les substances radio-actives obtenues renferment peu de polonium et de radium; le manque de matière n'a pas permis jusqu'ici d'obtenir les composés purs de ces métaux. Cependant la radio-activité, qui augmente à mesure que les substances se purifient, est déjà plusieurs milliers de fois plus grande que celle de l'uranium.

M. Demarçay, qui a bien voulu étudier ces substances, a découvert une raie nouvelle ($\lambda = 3814{,}8$) qui caractérise le radium au spectroscope.

Les radiations émises par les composés du polonium et du radium provoquent la fluorescence du platinocyanure de baryum et agissent sur les plaques photographiques avec une demi-minute de pose. Le carbonate de baryum renfermant du radium est spontanément lumineux.

M. le Président présente à Mme Curie les félicitations de la Société.

SÉANCE DU 17 MARS 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 mars 1899 est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. ULLMANN (Jacques), constructeur-électricien à Paris.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante :

Paris, le 16 mars 1899.

MONSIEUR LE TRÉSORIER,

J'ai l'honneur de vous adresser la facture d'impression du deuxième volume du *Recueil des données numériques*. Je m'empresse d'ajouter que j'ai reçu, d'un généreux ami de la Science qui désire garder l'anonyme, une somme de 9.600 francs pour solde de tout compte relatif à ce volume.

J'ai tenu, en effet, par analogie à ce qui a été fait pour le premier volume, à déduire du montant de la facture d'impression une somme de 734f,25 que la Société française de Physique voudra bien, j'espère, considérer comme une participation de l'imprimeur à cette belle publication.

Veuillez agréer, Monsieur le Trésorier, l'expression de mes sentiments les plus distingués et dévoués.

GAUTHIER-VILLARS.

Au milieu des applaudissements de la Société, M. LE PRÉSIDENT adresse à M. Gauthier-Villars et au généreux donateur ses plus vifs remerciements.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL donne à la Société communication d'une note de M. le lieutenant de vaisseau TISSOT, *sur les expériences de télégraphie sans fil* qu'il poursuit à Brest depuis environ un an. M. Tissot, au cours de ses expériences, a été amené à faire quelques remarques inédites à l'époque de ses observations. Les tubes employés étaient à électrodes de platine immobilisées ; la limaille était particulièrement de la limaille d'argent sulfurée ; il y a intérêt à prendre une densité assez forte de courant, par suite des tubes semi-capillaires ; les tubes les plus sensibles sont, comme l'a d'ailleurs montré M. Branly, légèrement conducteurs ; on doit donc les employer avec un relais ; pour les ramener à leur conductibilité initiale, il convient de leur donner des chocs très légers ; à cet effet, le courant du relais agit sur un signal électro-magnétique par transmission d'air. M. Tissot a fait des mesures relatives de la sensibilité des tubes par un dispositif analogue à celui de M. Branly ; diverses précautions rendent les observations toujours comparables. Les fils radiateurs et récepteurs ne sont pas munis de capacité ; il semble qu'il soit inutile de les disposer

verticalement; ils doivent être seulement dans un plan perpendiculaire à la direction de la propagation. Divers essais ont été entrepris pour déterminer expérimentalement le régime vibratoire du fil radiateur et l'influence de la nature du métal de ce fil.

Actuellement M. Tissot opère sur une plus vaste échelle avec des appareils plus puissants fournis par M. Ducretet au département de la Marine.

M. le Secrétaire général présente ensuite une note de M. Oumoff *sur des expériences d'optique*. M. Oumoff répète les expériences de polarisation, de polarisation rotatoire et chromatique, en se servant comme analyseur d'un cône en verre poli ayant une ouverture d'environ 68° et une hauteur de 3 à 4 centimètres; le faisceau polarisé, tombant parallèlement à l'axe du cône, trace sur un écran perpendiculaire une ombre entourée d'une zone brillante entrecoupée d'un diamètre sombre dont la direction est celle des vibrations de la lumière polarisée. M. Oumoff décrit aussi une expérience de MM. Abels et Oussaguine permettant de mettre facilement en évidence le sens de rotation d'une dissolution sucrée.

Recherches récentes sur la chromosphère et l'atmosphère solaires. — M. Deslandres remarque que cette question d'astronomie se rattache directement à la physique; elle ressortit à l'astronomie physique dont le grand développement actuel est dû aux applications de grandes découvertes de la physique, et en particulier de l'analyse spectrale.

M. Deslandres présente d'abord une revue générale des travaux antérieurs sur l'atmosphère solaire et le soleil lui-même.

Le soleil, observé à l'œil nu ou avec une lunette, présente un bord net, sans dépendances extérieures visibles; cependant les éclipses totales du soleil, qui sont, il est vrai, des phénomènes très rares et très courts, dévoilent une atmosphère extérieure très étendue, et formée de deux parties qui sont, à partir du bord, la chromosphère avec les protubérances et la couronne. L'adjonction du spectroscope à la lunette a permis d'observer journellement, en dehors des éclipses, depuis 1868, la chromosphère au bord et les protubérances par la méthode de MM. Janssen et Lockyer.

La surface du soleil, examinée à la lunette, présente des parties moins brillantes que les voisines, appelées taches, et aussi des parties plus brillantes, appelées facules. Les taches sont des cavités; les facules, des parties élevées de la surface.

En 1850, on a reconnu que les taches et les facules, considérées dans leur ensemble, ont des variations périodiques nettes, dont la période moyenne est de onze ans un tiers. Or, sur la terre, les éléments du magnétisme terrestre, et probablement aussi plusieurs autres éléments météorologiques, ont des variations exactement parallèles à celles des taches solaires.

D'autre part, les protubérances de l'atmosphère solaire, qui, depuis 1868,

sont relevées journellement dans plusieurs observatoires, suivent aussi les variations périodiques des taches et facules du disque. De même aussi la couronne, qui n'est encore observable que pendant les éclipses. M. Deslandres a contribué à la confirmation de cette dernière loi par ses observations des éclipses de 1893 et 1896.

En 1890, M. Deslandres est chargé d'organiser à l'Observatoire de Paris un service de spectroscopie astronomique. Il se propose de réaliser la photographie des protubérances. Jusqu'alors, en effet, l'observation des protubérances et de la chromosphère a été faite avec la raie rouge de l'hydrogène et a été seulement oculaire ; de plus, elle a été limitée au bord extérieur, la chromosphère projetée sur le disque n'étant pas décelée par la raie rouge qui est noire sur le disque.

M. Deslandres étudie d'abord le spectre des protubérances dans la région photographiable, spectre non encore reconnu, avec un appareil spécial formé par la réunion de deux spectroscopes, organisés pour l'observation oculaire et l'observation photographique. Les résultats sont les suivants :

Les raies violettes, attribuées au calcium, qui correspondent aux deux raies noires les plus larges du spectre solaire, appelées H et K par Frauenhofer, apparaissent brillantes, intenses et hautes dans les protubérances, et assurent la photographie de ces dernières, vainement tentée avec la raie rouge de l'hydrogène.

Les raies brillantes H et K, dont les protubérances sont un peu plus hautes que les raies de l'hydrogène ; ce qui conduit à penser que le métal calcium n'est pas un corps simple.

Le spectre ultra-violet des belles protubérances présente intense et brillant le spectre ultra-violet de l'hydrogène, reconnu pour la première fois par Huggins dans les Etoiles blanches, et représenté exactement en nombres de vibrations par la formule de Balmer $N = 2745,83\left(1 - \frac{4}{m^2}\right)$, *m* étant un nombre entier variant de 3 à 16, la constante étant déterminée par Ames avec une raie lumineuse. Or les belles protubérances ont montré cinq raies nouvelles qui correspondent aux valeurs de *m* de 17 à 21 et ont permis de mesurer les nombres de vibrations de toutes les raies avec une précision plus grande. L'accord avec la formule est plus complet qu'auparavant. La loi correspondante est une des plus précises de la physique.

Mais l'observation faite avec le même appareil sur le disque décèle un fait nouveau et important, annoncé en même temps (février 1892) par M. Hale, directeur de l'Observatoire de Chicago, et par M. Deslandres : A l'emplacement des facules du disque, les raies H et K, apparaissent brillantes et renversées. Mais M. Hale place les vapeurs brillantes correspondantes dans le disque et appelle les photographies de ces vapeurs photographies des facules. M. Deslandres les place au-dessus du disque, dans la chromosphère même, qui est ainsi décelée. Il opère avec un simple

spectroscope ordinaire, par la méthode des sections successives, lente, pénible, mais sûre, qui donne sur la même épreuve tous les éléments de la question, à savoir la raie brillante de la vapeur, la facule indiquée par le renforcement du spectre continu et le bord exact du disque. Il montre que les vapeurs du calcium sont plus larges que les facules, ont des mouvements différents dans le sens du rayon visuel, et donc ne se confondent pas avec les facules; que, d'ailleurs, les raies brillantes du calcium apparaissent non seulement à l'emplacement des facules, mais sur tous les autres points du disque où elles sont seulement plus faibles et plus difficiles à discerner; que, d'ailleurs, les raies brillantes au bord intérieur sont prolongées exactement par les raies brillantes du bord extérieur, qui décèlent la chromosphère du bord extérieur. Donc ces raies nouvelles dévoilent la chromosphère projetée sur le disque, encore inexplorée, et en assurent la photographie. Autre conclusion importante : les plages brillantes de la chromosphère correspondent aux facules ou aux parties élevées de la surface.

M. Deslandres décrit ensuite deux appareils automatiques organisés à l'Observatoire de Paris, avec un crédit spécial fourni par le Ministère, et qui enregistrent séparément, d'une part, les formes des plages les plus brillantes de la chromosphère entière (du disque et du bord) et, d'autre part, les vitesses radiales de ces vapeurs brillantes et l'épaisseur de la chromosphère au bord extérieur.

Le spectrographe des formes, appelé aussi spectrographe à deux fentes, est caractérisé par une deuxième fente fine, qui isole dans le spectre la raie brillante K du calcium. Derrière cette deuxième fente est une plaque photographique mobile. On donne un mouvement lent et uniforme au spectroscope entier, de manière à faire pénétrer successivement par la fente du collimateur tous les points d'une image réelle du soleil projetée sur cette fente. En même temps la plaque photographique a un mouvement proportionnel derrière la deuxième fente et présente finalement une image de la chromosphère, formée par le mouvement d'une ligne lumineuse. M. Deslandres pose les conditions à remplir par ces appareils, à savoir : fixité relative des deux fentes, et emploi d'une faible dispersion (un seul prisme suffit). Grâce aux règles précédentes, les images obtenues à Paris présentent plus de détails que les images similaires de l'appareil américain; elles présentent, en particulier, aux pôles du soleil de petits maxima de lumière dont l'absence sur les épreuves américaines était présentée comme un argument contre la position assignée aux vapeurs par M. Deslandres.

Les spectrographes des vitesses radiales, réalisés en France seulement, présentent la juxtaposition des spectres de sections successives équidistantes sur le disque solaire. Le spectre de chaque section comprend la raie brillante du calcium, et une petite portion du spectre continu voisin, avec une raie noire qui est comparée à la raie brillante. Ces épreuves donnent les vitesses radiales de la surface solaire et de la chromosphère

avec l'épaisseur de la chromosphère en plus. Elles ont montré que, dans les protubérances, les vitesses sont, en général, plus grandes dans les parties hautes. Ce résultat est contraire à la théorie souvent présentée qui explique les protubérances par les éruptions.

Dans une communication prochaine, M. Deslandres montrera que l'ensemble des phénomènes lumineux de la chromosphère s'explique facilement, en supposant sur le soleil un phénomène analogue à l'électricité atmosphérique terrestre.

En terminant, M. Deslandres remarque qu'il a retrouvé la raie du calcium dans le spectre de la lumière générale du soleil, c'est-à-dire dans le spectre que donnerait le soleil s'il était aussi éloigné de nous que les étoiles. D'où la possibilité de déceler par l'étude spectrale la chromosphère des étoiles et les variations de cette chromosphère, probablement aussi périodiques.

Sur l'interrupteur électrolytique de Wehnelt; par M. P. Villard. — L'interrupteur Wehnelt permet d'obtenir, avec des petites bobines d'induction, des étincelles qui dépassent, en longueur, celles que donne le Foucault. Etant donnée la fréquence des interruptions (plus de 1.500 par seconde), ce résultat semble en contradiction avec les lois de l'induction; le voltage (80 à 100 volts) n'est, en effet, nullement en rapport avec la fréquence à laquelle la réactance de l'inducteur est sensiblement proportionnelle.

Avec les bobines puissantes, la longueur de l'étincelle est, au contraire, relativement réduite et, en général, beaucoup moindre qu'avec le Foucault.

Si on souffle légèrement sur l'étincelle, on la voit aussitôt se modifier profondément et prendre un caractère plus normal; elle se raccourcit beaucoup, et, au lieu d'une auréole continue, on a une gerbe d'étincelles grêles assez semblables à celles que donne le Deprez, mais plus nombreuses. Le maximum de longueur s'obtient, au contraire, en disposant les extrémités des électrodes l'une au-dessus de l'autre, la cathode étant en bas. L'étincelle se présente alors sous la forme d'une colonne de feu, verticale sur presque tout son trajet, et aboutissant au point le plus élevé du fil positif, même s'il en résulte un allongement de plusieurs centimètres. Les moindres mouvements de l'air suffisent à déformer cette étincelle, et il suffit de souffler dessus très légèrement pour l'éteindre; elle ne se rallume que si on rapproche les électrodes.

L'explication de ces phénomènes est très simple : par suite de leur succession rapide, les étincelles créent autour d'elles une gaine conductrice d'air chaud; de là leur caractère particulier, qu'on observe déjà avec le Deprez, et leur longueur très supérieure, surtout avec les petites bobines, à celle que devrait donner la force électromotrice agissante. L'effet est naturellement plus marqué si l'étincelle est verticale et se produit en air calme, et surtout si la cathode est inférieure; le dégagement de chaleur est en effet beaucoup plus considérable à la cathode

qu'à l'anode. Dans ces conditions, une bobine de 5 centimètres d'étincelle en donne facilement 15 ou 16. L'action d'un courant d'air s'explique sans difficulté.

En résumé, l'étincelle ainsi obtenue est, en réalité, semblable à celle que donne l'interrupteur Deprez; elle doit à la gaine d'air chaud qui l'entoure son caractère particulier et sa longueur; mais l'énergie de chaque décharge est beaucoup moindre qu'avec le Foucault, et la puissance des effets produits tient uniquement à l'extrême rapidité avec laquelle se succèdent les étincelles.

SÉANCE ANNUELLE.

RÉUNIONS DES VENDREDI 7 ET SAMEDI 8 AVRIL 1899

à 8 heures et demie très précises du soir.

Eclairage du vestibule, du grand escalier, de la salle d'entrée et de la grande salle......................	**Cie générale des travaux d'éclairage et de force**; *anciens Etablissements* **Clémançon.**
Eclairage de la salle du Conseil......................	**MM. Cance et fils.**
Appareils de mesures électriques......................	**MM. Arnoux et Chauvin.**
Clichés photographiques du phénomène de la dispersion anomale de la vapeur de sodium dans le spectre......................	**M. H. Becquerel.**
Règle à calculs, modèle spécial, permettant de résoudre, par un seul mouvement de la réglette, avec une approximation deux fois plus grande que les autres modèles, les opérations effectuées par ceux-ci et de plus le produit de trois facteurs et quotient d'un nombre par le produit des deux autres. — Alliages d'aluminium pour instruments de précision.......	**M. A. Béghin.**

Nouvel oscillographe bifilaire perfectionné. — Courbes périodiques de l'arc électrique alternatif. — Cohéreurs régénérables très sensibles de **MM. Blondel** et **Dobkevitch.** — Alternateur médical pour courants sinusoïdaux, mû par turbine...................... **M. A. Blondel.**

Machine statique à six plateaux, à grand débit, pour la radioscopie. — Chambre noire roulante à déplacement simultané de l'ampoule et de l'écran de **M. J. Wertheimer.** — Bobine Ruhmkorff avec interrupteur **Wenhelt.** — Résonateur **Oudin** nouveau modèle. **M. L. Bonetti.**

Balance enregistrante de M. le professeur **Bouchard**.. **M. Bouchard.**

Spectres électriques obtenus dans l'air comme les spectres magnétiques. (Lignes de force de divers champs électriques dans l'air atmosphérique.)..... **M. Boudréaux.**

Oscillations hertziennes et enveloppes métalliques. — Résistances aux contacts métalliques.............. **M. E. Branly.**

Tubes à rayons anodiques.......................... **M. A. Broca.**

Spécimens de Répertoires bibliographiques sur fiches de différentes branches de sciences, établis d'après le type adopté par l'Institut international de Bibliographie de Bruxelles pour le Répertoire bibliographique universel, basé sur l'emploi de la classification décimale. — Meubles classeurs de différents modèles pour ces répertoires. — Brochures diverses se rapportant à la Bibliographie scientifique basée sur l'emploi de la classification décimale........... **Bureau bibliographique de Paris.**

Appareil automatique pour la prise d'air à haute altitude, construit par M. **Golaz**........................... **M. Cailletet.**

Appareils divers. — Appareils de mesures électriques. **M. Carpentier.**

Interrupteurs à mercure de **M. Villard**, pour courants continus. — Interrupteur à mercure de **M. Villard**, pour courants alternatifs. — Dispositif de tubes de faible résistance associés à un tube de Crookes permettant l'emploi du courant alternatif sans interrupteur. — Appareil de **M. Chabaud**, pour obtenir deux épreuves radiographiques permettant d'avoir le relief stéréoscopique. — Appareil de **M. Chabaud**, pour repérer et examiner aussitôt leur développement, deux clichés négatifs donnant le relief stéréoscopique. — Obtention de clichés positifs directs développés

en pleine lumière (procédé de M. **Villard**). — Tubes de Crookes divers (modèles de l'année). — Démonstration du fonctionnement de l'osmo-régulateur de M. **Villard**, appliqué aujourd'hui au réglage de tous les tubes de Rontgen que nous construisons. — Appareil de MM. **Fabry** et **Pérot**, pour produire un arc au mercure dans le vide (franges d'interférence à grande différence de marche). — Appareil électrolytique de M. **Riban** (modèle simple).— Appareil électrolytique de M. **Riban** (modèle disposé pour exécuter quatre dosages)........ M. V. **Chabaud.**

Balances de précision montées sur socles en fonte de fer et dalles en opaline........ M. A. **Collot.**

Interrupteur à mercure, construit par M. **Gaiffe**...... M. **Contremoulins.**

Effets photographiques et fluorescences provoqués par les substances radio-actives. — Décharge des corps électrisés sous l'influence des substances radioactives........ M. et Mme **Curie.**

Minuterie à remontage automatique. — Interrupteurs et coupe-circuits divers........ Cie **Française d'appareillage électrique**: *anciens Etablissements* **Grivolas, Sage** et **Grillet.**

Moteur à vapeur pour la navigation aérienne sans ballons........ M. **Delaurier.**

Viscosimètre de MM. **Grobert** et **Démichel** (nouveau modèle simplifié). — Petit appareil producteur d'acétylène, système **Gossart**, pour expériences de projections. — Nouveaux becs à acétylène de grande intensité pour expériences de projections. — Becs à acétylène divers. — Appareil pour l'essai du carbure de calcium........ M. A. **Démichel.**

Photographies nouvelles du Soleil qui décèlent non seulement la chromosphère au bord et les protubérances, mais la chromosphère projetée sur le disque, et qui enregistrent les formes, les mouvements et l'épaisseur des vapeurs solaires........ M. **Deslandres.**

Contrôle de l'orientation d'un quartz épais normal à l'axe........ M. R. **Dongier.**

Télégraphie hertzienne sans fil, appareils pour les grandes distances, de **E. Ducretet.** — Bobines d'induction puissantes (transformateurs). — Résonateur de M. le Dr **Oudin.** — Interrupteur électrolytique de M. le Dr **Wehnelt.** — Interrupteur à moteur, de **E. Ducretet.** — Chambre noire (*négatoscope*) de M. le Dr **Lenoir,** pour l'examen direct des clichés radiographiques. — Radiographies rapides et instantanées réalisées par le Dr **Lenoir,** avec le matériel **E. Ducretet.** — Radiographies réalisées avec le matériel **Ducretet** à la clinique Baudelocque (MM. les Drs **Pinard** et **Varnier**), par M. **Vaillant.** — Compteur d'électricité de M. **Blondlot.** — Wattmètre universel de MM. **A. Blondel** et **E. Labour.** — Appareil de cours montrant que l'étincelle de décharge n'est pas unique; qu'il y a *oscillation électrique;* appareil construit suivant les indications de M. **Bichat**.................. **M. E. Ducretet.**

Petites turbines. — Petits moteurs électriques. — Alternateur médical de M. **A. Blondel**................ **M. Figueras.**

Nouvelles bobines d'induction démontables système **Guerre** (*Société de la Lorgnette humaine*)............ **M. Früh.**

Moteurs électriques de 6 à 14 kilogrammètres. — Galvanomètres. — Machine statique à grande vitesse. — Bobine Ruhmkorff actionnée par un interrupteur à platine et eau acidulée. — Appareil faradique à bobine oscillante donnant des courants induits d'intensités rythmiquement variables. Système **Truchot,** dispositif **Gaiffe** et **Cie**. — Voltmètre, ampèremètre et enregistreur électrique, système **Meylan**.. **MM. Gaiffe et Cie.**

Chronophotographe, système **Demeny,** modèle simplifié.. **MM. L. Caumont et Cie.**

Essai de représentation des champs électriques par leurs lignes de forces............................ **M. Godefroy.**

Enregistrement photographique des mouvements internes du bain révélateur........................ **M. Guébhard.**

Thermomètre bimétallique à lame d'acier, nickel et laiton, construit par M. **Huguenin-Robert**.......... **M. Ch.-Ed. Guillaume.**

Interrupteurs, rhéostats, réducteurs, etc. — Disjoncteurs automatiques pour courant trop faible et cou-

rant trop fort (nouveau système). — Petits moteurs électriques industriels pour actionner des pompes, des turbines, des machines-outils et des appareils de laboratoire.................................. M. **S. Illyne Berline.**

Centrifugeur à deux vitesses. — Viseur **Benoist-Krauss.** — Nouveau plana **Zeiss-Krauss.** — Stéréo-jumelles **Zeiss-Krauss**........ .... MM. **Krauss et Cie.**

Radioscope explorateur construit par M. **Radiguet**.... M. **A. Londe.**

Harpe chromatique. — Appareil ayant servi à l'étude des cordes et des ressorts de la harpe chromatique. M. **Lyon.**

Analyse et synthèse des voyelles..................... M. **Marage.**

Clichés chronophotographiques obtenus sans perforation de la pellicule.............................. M. **Marey.**

Ozoneur électrique du Dr **Pertat.** — Tableau de distribution électrique par Laryngologistes............ M. **A. Michaud.**

Spectroscope à échelons.............................. M. **A. Michelson.**

Projections de divers clichés photographiques et des photographies en couleurs de MM. **Lumière**........ M. **Molteni.**

Microscope renversé pour la Photographie des métaux, modèle de M. **Le Chatelier.** — Modèle de galvanomètre à cadre pour usines, de M. **Le Chatelier.** — Spectroscope à grande dispersion, à lunettes fixes, déviation fixe de MM. **A. Broca** et **Ph. Pellin.** — Spectroscope à quatre prismes en spath, avec déviation au minimum, automatique. — Lampe étalon secondaire de M. **A. Blondel.** — Oscillographe bifilaire de M. **Blondel.** — Support universel d'optique de M. **Meslin.** — Spectroscope de M. **Yvon.** — Hématospectroscope à analyseur chromatique de M. **A. Hénocque.** — Photomètre à champs concentriques. — Stéréoscope de M. **Caze** à grand champ pour observations radiographiques. — Nouvelle lanterne avec régulateur à main de M. **Ph. Pellin.** — Héliographe à latitude variable. — Colorimètre avec colonne liquide de 0m,20. — Appareils divers. — Expériences de projections diverses.................................. M. **Ph. Pellin** (Successeur de M. J. Duboscq.)

Appareil pour intégrer les équations différentielles du premier ordre, construit par M. **Pellin**.......... M. **Petrovitch.**

Radioguide **Radiguet** appliqué à l'appareil de MM. **Warluzel** et **Ioland.** — Radiométrographe de **Buguet.** — Radioscope explorateur de **Londe.** (Ces trois appareils ont pour but, par des méthodes différentes, de déterminer la position exacte d'un corps étranger à l'intérieur des corps perméables aux rayons X.) — Interrupteur électrolytique de **Wehnelt** utilisant sans intermédiaire les courants alternatifs à 110 volts sur toutes espèces de bobine d'induction pour la production des rayons X et des courants de haute fréquence. — Porte-tube du Dr **Guilleminot** permettant de faire varier l'angle d'incidence (modèle présenté à l'Académie par M. le professeur **Bouchard**). X-oscope, X-omètre. Posomètre **Buguet.** Interrupteur cuivre-cuivre. — Résonateur **Oudin**.... M. **Radiguet.**

Nouveau modèle de baro-thermo-hygromètre enregistreur, tout en aluminium, pour cerfs-volants et ballons-sondes. Modification de l'hygromètre pour assurer le contact constant des deux cames roulantes et du thermomètre métallique à dilatation de liquide pour en augmenter la sensibilité. — Actinomètre à éclipse, construit pour M. **Violle.** — Anémoscope et anémomètre portatifs à transmission mécanique. — Nouveau modèle d'appareil **Rabut** pour enregistrer les flèches de ponts et les déformations générales des poutres métalliques. — Appareil pour enregistrer les déformations locales des poutres métalliques. — Construit pour M. **Mesnager,** ingénieur des Ponts et Chaussées, et d'après ses indications. — Contrôleur de rondes, système **Pecquet.** — Nouveaux voltmètres thermiques, modèle à cadran ; modèle enregistreur. — Wattmètre enregistreur pour courants triphasés. — Perfectionnements apportés au vérascope. — Viseur clair redresseur. — Pied-canne avec cône et rotule. — Nouveau classeur vérascopique. — Stéréoscope multiple à main, de vingt-quatre vues, système **Jahnholtz.** — Stéréoscope multiple à manœuvre automatique, système **Colardeau-Richard.** — Cône d'agrandissement. Lanterne et lampe d'agrandissement. Agrandissements d'épreuves du vérascope........................ M. **Richard.**

Grand transformateur spécial marchant directement sur 110 volts. — Transformateur 50 centimètres

d'étincelles sous 12 volts et 6 ampères. — Interrupteur électrolytique de **Wenhelt** à cathode refroidie, modèle **Rochefort.** — Interrupteur rotatif à mercure. — Transformateur unipolaire, 6 volts, 5 ampères (dans son meuble). — Interrupteur à guide liquide à faible consommation. — Bobines d'allumage avec et sans interrupteurs .... **M. O. Rochefort.**

Appareil servant à montrer l'augmentation de pression qui se produit par le mélange (à volume et température constants) de deux gaz différents primitivement à la même pression, construit par M. **Chabaud.** **M. Sacerdote.**

Objectifs et théodolites .... **M. G. Secretant.**

Nouvelles pompes à mercure de **M. E.-V. Chatelain.** — Ozoneur **Chatelain** type 1899. — Appareils de laboratoire chauffés à l'alcool de **M. P. Boulay.** — Burette automatique **Lanquetin** (1899) et quelques petits appareils .... **Société centrale des Produits chimiques.**

Transformatrice **Labour** de 2.000 watts (110 à 140 volts) .. **Société de l'Éclairage électrique.**

Échantillons de divers produits métallurgiques et notamment de carbure de calcium provenant de la nouvelle usine de Méran (Tyrol) .... **Société électrométallurgique,** procédés **Gin** et **Leleux.**

Microphonographe **Berthon Dussaud-Jaubert** .... **Société industrielle des Téléphones.**

Maquette de la lunette et du sidérostat de 1900. — Plans du Palais de l'Optique de **M. P. Bobin** .... **Société l'Optique.**

Microscopes et accessoires .... **M. Stiassnie.**

Compteurs d'énergie électriques, système **Aron,** nouveau modèle à remontage automatique électrique.. **M. J. Ullmann.**

Radiographies .... **M. Ch. Vaillant.**

Réducteur de 4.000 ampères pour 10.000 lampes, manœuvrable à distance et automatique électrique. —

Commutateur de traction pour système à fleur du sol, appliqué aux tramways du Bois de Boulogne (système **Vedovelli**). — Lampes se montant sans fil ni connexions ; pouvant servir pour illuminations et comme procédés économiques d'éclairage. — Interrupteur de 2.000 ampères 110 volts. — Interrupteur tripolaire 4.000 volts 50 ampères pour haute tension. — Disjoncteur à balai minima 700 ampères. — Disjoncteur à mercure à minima de 150 ampères. — Rhéostats 15 ampères pour démarrage de moteur. — Rhéostat 100 ampères pour démarrage de moteur à enclenchement automatique. — Rhéostat pour ascenseur, à mise en marche réglable. — Rhéostat d'arc. — Parafoudre à condensation. — Appareil de démonstration pour indicateur de vitesse à glycérine. — Plombs fusibles (système **Vedovelli**). — Commutateurs. — Lettres lumineuses............ **MM. Vedovelli et Priestley.**

Appareil pour montrer l'existence, dans la pyrrhotine, de deux directions rectangulaires, dont l'une est magnétique et l'autre non magnétique, construit par **M. Werlein**.................................... **M. Pierre Weiss.**

SÉANCE DU 21 AVRIL 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BOULGAKOFF (Nicolas), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
POZZI-ESCOT (E.), à Mont de Nérac, commune de Bergerac (Dordogne).
SULZER (D.-E.), Docteur en médecine à Paris.
WEINBERG (Boris), Magistrant de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

M. LE PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que vient de faire la Société en la personne de M. *Charles Friedel*, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, ancien président de la Société française de Physique, décédé à Montauban. Il rend hommage aux qualités de cœur qui ont concilié au défunt de si vives sympathies. La Société exprimera ses condoléances à Mme Friedel.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société de la mort de M. *Gustave Heinrich Wiedemann*, Professeur à l'Université de Leipzig, auteur de travaux, classiques aujourd'hui, relatifs à toutes les branches de la Physique et particulièrement à l'électricité et au magnétisme. Son grand *Traité d'Électricité* est le recueil le plus complet qui existe; il a rendu à tous les physiciens le plus grand service. Le nom de Wiedemann n'est pas perdu pour la science : il est porté par son digne héritier scientifique Eilhard Wiedemann, membre de la Société française de Physique.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL rend compte de l'Exposition annuelle qui a eu lieu les vendredi 7 et samedi 8 avril :

« MESSIEURS,

« La tâche que veut bien me confier notre cher Président ne laisse pas que de me causer quelques appréhensions.

Une partie, cependant, se présente comme un véritable plaisir, et je la veux tout d'abord remplir en exprimant ici la reconnaissance de la Société à tous ceux qui, avec la plus grande générosité, contribuent à assurer le succès de nos séances de Pâques; nous devons tout particulièrement remercier : MM. Cance et fils qui, continuant une tradition déjà ancienne, ont bien voulu, cette année encore, éclairer brillamment la salle du con-

seil; la Compagnie générale d'Eclairage et de Force qui a éclairé tout le reste de l'Hôtel et dont l'aimable Directeur, M. Clémançon, a bien voulu mettre à notre disposition un électricien qui a installé avec la plus grande complaisance toutes les lignes de distribution réclamées par nos exposants; M. Labour enfin, Directeur de la Société d'Eclairage électrique, qui, en nous prêtant une de ses excellentes transformatrices, nous a permis de répondre au désir souvent exprimé d'avoir du courant continu.

Le transfert du Congrès des Sociétés savantes de Paris à Toulouse nous avait fait craindre un instant que le nombre de nos confrères de province qui viennent assister à nos réunions ne fût, cette année, un peu diminué; il n'en a rien été, et plus de cent vingt membres ont pu profiter de l'intelligente libéralité des Compagnies de chemins de fer, toujours aussi empressées à favoriser le développement d'une science dont les progrès ne sauraient leur demeurer indifférents.

Nos séances ont commencé, d'une façon particulièrement intéressante, par une visite aux ateliers de construction de la grande lunette de 1900; M. Gautier a bien voulu nous donner lui-même sur place toutes les explications utiles, et nous avons pu ainsi admirer les procédés si délicats et si sûrs qui le conduiront à réaliser non seulement l'une des attractions de l'année prochaine, mais encore une œuvre qui datera dans l'Histoire de l'Optique.

Deux conférences ont été faites devant un public nombreux et attentif par deux conférenciers qui savent joindre à leur grand talent de physiciens l'art d'exposer leurs recherches d'une façon particulièrement aimable : M. d'Arsonval nous a montré un grand nombre d'expériences faites avec de l'air liquide préparé en quantité considérable, et M. Villard nous a entretenu de ses curieux travaux sur les rayons X et la photographie.

Nos confrères parisiens me pardonneront certainement de commencer le compte rendu de l'Exposition proprement dite en parlant d'abord de ceux des membres de notre Société qui, habitant l'Etranger ou la province, ont bien voulu venir nous exposer personnellement le résultat de leurs recherches. La séance d'aujourd'hui nous permettra d'ailleurs de les entendre avec plus de tranquillité qu'au milieu de l'Exposition, et je suis sûr d'être l'interprète de vos sentiments unanimes en remerciant MM. Michelson, Hurmuzescu, Guébhard, de vouloir bien prendre la parole ce soir; vous me permettrez, sans doute, d'ajouter que vous souhaitez tous avec moi de voir leur exemple fréquemment suivi. M. Pierre Weiss avait apporté à l'Exposition le délicat petit appareil que M. Sagnac va nous expliquer tout à l'heure; M. Beghin nous a présenté ses intéressantes règles à calcul. Nous avons aussi admiré l'ingénieux compteur de M. Blondlot et les appareils de MM. Perot et Fabry.

Messieurs, un article de notre Règlement porte que les séances de Pâques seront principalement consacrées à la répétition des expériences et des communications faites dans l'année devant la Société. Nous avons tâché que cette utile récapitulation de nos travaux fût, cette année, la plus

complète possible, et plusieurs d'entre vous ont bien voulu abréger leurs vacances pour venir répéter leurs expériences et les montrer à ceux de nos collègues de province qui n'avaient point encore eu la bonne fortune de les voir.

C'est ainsi que nous avons pu, à nouveau, admirer les résultats des belles recherches de Mme et de M. Curie sur les substances radioactives, revoir les belles expériences dont M. Villard vous a plusieurs fois entretenu, et qu'avec une bonne volonté infatigable, aidé par son habile collaborateur M. Chabaud, il a reproduit durant nos deux jours d'Exposition; M. Dongier avait installé son intéressante méthode pour le contrôle et l'orientation d'un quartz épais normal à l'axe; M. Deslandres nous a procuré le plaisir de revoir ses belles photographies du soleil; M. Broca nous a montré le spectroscope remarquable que lui et M. Pellin ont imaginé. L'attention de tous nos visiteurs était particulièrement attirée par les expériences de télégraphie sans fil que M. Ducretet a bien voulu faire, et M. Branly, le principal auteur de cette découverte importante, avait fait installer dans l'une de nos salles quelques-uns de ses appareils désormais historiques. M. Becquerel nous avait envoyé ses beaux clichés photographiques sur la dispersion anomale; le Bureau Bibliographique de Paris, par l'intermédiaire de M. le général Sebert, des spécimens des répertoires bibliographiques, si utiles pour les chercheurs; et, de même, nous avons revu les photographies de M. Marage relatives à ses procédés d'analyses et de synthèse des voyelles, divers appareils remarquables de M. Blondel, le thermomètre bimétallique de M. Guillaume, les pellicules sans perforation de M. Marey. Nous serions ingrats, si nous oubliions qu'un certain nombre des expériences dont je viens de parler n'ont pu être faites que grâce au concours habile que M. Pellin veut bien nous prêter avec le plus grand dévouement.

La tradition qui fait l'honneur de la science française et que notre Société a beaucoup contribué à maintenir, je veux dire ce concours mutuel que veulent bien se prêter, en vue d'un but commun, le progrès, les savants et les constructeurs, ne s'est pas démentie cette année; une fois de plus, nous avons pu constater avec quelle intelligence nos constructeurs d'instruments de précision savent immédiatement profiter de toutes les découvertes utiles et les perfectionner en vue des applications. Ainsi, par exemple, la bobine de Ruhmkorff, dont l'emploi est devenu si fréquent à la suite des découvertes récentes que vous connaissez, a été, dans ces derniers temps, l'objet de nombreux travaux; vous avez constaté, Messieurs, que, soucieux des besoins de l'actualité, nos exposants nous ont montré, à l'envi, les dispositifs les plus variés et les plus ingénieux. M. Carpentier, qui ne saurait oublier que des ateliers qu'il dirige avec une science si éclairée est sortie la première bobine d'induction, nous a montré le dispositif de Wenhelt fonctionnant à bas voltage. M. Rochefort exposait l'un de ses beaux transformateurs, ainsi que des modèles d'interrupteur; M. Gaiffe, avec beaucoup d'autres appareils, l'interrupteur de M. Contremoulins; et parmi tant d'autres instruments qui, dans les expo-

sitions de ces constructeurs, ont attiré votre attention, vous avez remarqué que MM. Bonnetti, Chabaud, Ducretet, Früh et Radiguet nous montraient des bobines ou des interrupteurs fort intéressants.

L'électricité était encore représentée dans d'autres expositions, et vous avez pu voir aussi bien des appareils répondant aux besoins de la grande industrie, comme ceux de MM. Vedovelli et Priestley, ceux de MM. Ilïyne-Berline, ceux de la Compagnie d'appareillage électrique, les compteurs de M. Ullmann, les instruments de mesure de MM. Chauvin et Arnoux, les moteurs de M. Figueras, que des expériences de cours comme celles où M. Boudreaux et M. Godefoy mettent en évidence les lignes de force d'un champ électrique.

On ne saurait s'étonner que l'électricité domine dans une Exposition de physique; elle domine aujourd'hui dans toutes les applications; mais les autres parties de notre science n'étaient point sacrifiées; nous avions de beaux appareils d'optique dans les expositions de M. Pellin, de M. Secretan, de M. Stiassnie; des appareils de calcul comme l'intégrateur de M. Petrowitch, et, parmi tant d'autres, relatifs à diverses branches de la physique, je citerai encore l'appareil de M. Cailletet construit par M. Golaz pour les prises d'air à haute altitude, l'appareil de M. Sacerdote pour la loi du mélange des gaz, les belles balances de M. Collot, celle du professeur Bouchard, le radioscope explorateur de M. Londe; les appareils divers de M. Krauss; je ne puis que vous rappeler les expositions de la Société centrale des Produits chimiques, de la Société électrométallurgique, celle de M. Vaillant, enfin celle de M. Richard qui, outre les nouveaux modèles de ses instruments enregistreurs si appréciés, nous a montré de si belles photographies, agrandissements d'épreuves obtenues avec son vérascope. Grâce à lui, le côté artistique de l'Exposition n'a pas été négligé; d'ailleurs d'autres personnes ont bien voulu également contribuer à le développer. M. Lyon, qui nous avait envoyé l'appareil servant dans ses ateliers à l'étude de la tension des cordes, nous a fait voir combien la science peut être utile à l'art, en nous faisant entendre, grâce à des artistes de talent, une harpe chromatique ainsi étudiée. N'oublions pas non plus l'excellent microphonographe de la Société des téléphones, les belles photographies en couleur des Frères Lumière projetées par M. Molteni, et le chronophotographe de M. Gaumont, qui donne d'une façon si intense l'impression de la vie.

Grâce à tous, nous avons ainsi pu montrer que l'activité de notre Société ne s'est pas ralentie cette année; c'est un devoir pour moi, en terminant ce rapide compte rendu, de dire bien haut que, si la Société n'a pas eu trop à souffrir de l'inexpérience de son nouveau Secrétaire général, elle le doit à mes prédécesseurs qui ont établi une tradition excellente, engagé notre marche dans une voie sûre, et aussi, pour une bonne part, à M. Sandoz, qui a bien voulu me continuer avec le plus grand zèle son concours intelligent et dévoué. »

Appareil de M. P. Weiss *pour montrer l'existence, dans la pyrrhotine de deux directions rectangulaires, dont l'une est magnétique et l'autre non magnétique.* — M. Sagnac présente un appareil imaginé par M. Pierre Weiss pour montrer l'existence, dans la pyrrhotine, ou pyrite magnétique (Fe^7S^8), de deux directions rectangulaires, dont l'une est magnétique, et l'autre non magnétique. Cette propriété a été découverte par la méthode du galvanomètre balistique, qui est la meilleure pour l'étude de la variation de l'aimantation avec la direction. Mais les méthodes d'arrachement qui ne permettent que de déterminer grossièrement la grandeur d'une aimantation peuvent fournir une méthode de zéro très délicate pour constater son absence. Une sphère de pyrrhotine suspendue à un fil de laiton porté par un genou de Cardan peut à volonté, en tournant autour d'un axe vertical, présenter une direction magnétique ou la direction non magnétique, ou toutes les directions intermédiaires au pôle d'un aimant. Celui-ci peut être approché ou reculé au moyen d'un mouvement à vis, et quand la sphère présente sa direction non magnétique, il peut être amené jusqu'au contact et retiré sans produire le moindre mouvement. Quand on fait tourner la substance d'un angle droit, l'apparition des propriétés magnétiques se manifeste par un mouvement de plusieurs centimètres d'amplitude.

Le « rayon vert »; sa pure subjectivité. — M. Guébhard, frappé de la diversité et du vague des explications récemment fournies à l'appui de l'objectivité ou réalité physique du *rayon vert* que, souvent, on perçoit après certains crépuscules rouges, a été ramené, par la discussion de toutes les observations publiées, à l'explication toute physiologique et subjective que donnait, dès 1885, M. Trèves, dans une note présentée à l'Académie par Chevreul lui-même (*C. R.*, CI, 845) et qu'avait reprise le Dr Abbate Pacha [*Bull. Inst. Egypt.*, (3), III, 326, — 1893], avant que M. W. Groff [*même recueil*, (3), IV, 149, et vol. suiv.] vînt, contrairement à l'opinion de M. G. Daressy (*id.*, V, 254), remettre en honneur l'objectivité du *rayon vert*, confondu soit avec le *soleil vert* que produit quelquefois la suspension de fins corpuscules dans les airs (bien distinct du *soleil vert*, simple image consécutive du soleil rouge), — soit encore avec les *zones colorées* du crépuscule, dont l'origine très probablement diffractive semble établie par les expériences de Kiessling (*Die Dämmerungserscheinungen im Jahre* 1883, Hamburg u. Leipzig, 1885), Battelli [*Nuovo Cimento*, (3), XXXIX, 97; 1891], Aitken (*Proc. Roy. Sy.*, LI, 408; 1892), C. Barus [*Phil. Mag.*, (5), XXXVIII, 19; 1894] et les théories de Clausius (*Pogg. Ann.*, LXXVI, 187; 1849, et LXXXIV, 449; 1851), Brücke (*Pogg. Ann.*, LXXXVIII, 363; 1853), Soret [*Ann. Chimie*, (6), XIV, 503; 1888], etc. Quant au *rayon vert*, si intensivement, mais si fugitivement perçu, ce n'est, en réalité, que l'ombre grise, brusquement jetée vers l'œil au dernier contact de l'astre avec l'horizon, — ce que Soret appelle la *masse ombrée*, et Battelli l'*ombre de la terre*, — ombre que la rétine, par suite de son anesthésie caractérisée pour le rouge, doit percevoir verte, ainsi qu'il arrive, soit dans le laboratoire, soit en plein air, pour toute ombre projetée par

une source lumineuse rouge intense en présence d'une lumière blanche faible. En l'espèce, le blanc faible est fourni par le zénith encore illuminé directement, et c'est, sans doute, pour n'avoir pas insisté sur ce simple détail que la seule explication qui fût naturelle n'a pu s'imposer d'emblée à des observateurs illusionnés par le témoignage de leurs sens.

M. Pellat, tout en reconnaissant que le phénomène des couleurs consécutives peut jouer un rôle dans la vision du rayon vert, considère le rayon vert comme ayant une existence réelle. Il a eu bien souvent l'occasion d'observer ce phénomène de ses fenêtres qui donnent au couchant, et voilà le résultat de ses observations. Quand le soleil est très bas sur l'horizon et qu'il présente une couleur jaune doré, le bord supérieur du soleil est bordé d'une bande verte, allant du vert bleuâtre au vert jaunâtre en se rapprochant du disque, et le bord inférieur est bordé d'une bande rouge. Ce phénomène s'observe très facilement dans une lunette, le diaphragme permettant de cacher le disque brillant et de voir en premier lieu la bordure verte ou rouge, ce qui élimine tout effet de couleur consécutive. L'interprétation de ce phénomène est immédiate; l'atmosphère produit des réfractions de même sens que celles d'un prisme dont l'arête serait dirigée vers le haut; elle donne un spectre virtuel de soleil, dans lequel les couleurs les plus réfrangibles forment les images supérieures; s'il n'y avait aucune absorption des couleurs, on aurait un disque blanc bordé en haut de vert bleu et violet, en bas de jaune orange et rouge. A cause de l'absorption qui produit l'atmosphère sur le violet et le bleu, témoigné par la couleur jaune du disque, le vert bleuâtre est la première couleur de ce spectre qui peut parvenir jusqu'à l'observateur. On conçoit que, quand le soleil s'abaisse derrière l'horizon ou un obstacle voisin de l'horizon (toit de maison, par exemple), la dernière partie vue est le bord vert supérieur, d'où le rayon vert. La bande verte étant très étroite, les phénomènes ne durent qu'une fraction de seconde, si l'observateur reste immobile. Mais, en gravissant lentement un plan incliné, il peut voir pendant plusieurs minutes le rayon vert.

M. Pellat a publié ces observations en 1887, dans le *Bulletin de la Société philomatique* (7e série, t. XII, p. 22).

M. Guébhard croit que l'intéressant phénomène de coloration observé par M. Pellat est encore tout différent du *rayon vert* strictement défini comme succédant immédiatement au dernier contact du disque rouge (et non jaune) avec l'horizon et durant au maximum 1/5 de seconde. M. Franceschi, qui a fait en Egypte, sur ce *rayon vert*-là de nombreuses observations spectroscopiques, l'a toujours vu donner un spectre complet, peu à peu faiblissant, mais disparaissant brusquement, tout entier, d'un seul coup [*Bull. Inst. égypt.*, (3), VII, 271; 1896].

Il y aurait d'abord lieu, dans toute expérimentation physique à cet égard, de se mettre en garde non seulement contre les rayons rouges pouvant arriver directement sur la rétine, mais encore contre ceux qui pénètrent

toujours inconsciemment à travers l'épaisseur de la paupière et auxquels M. Guébhard a démontré (*Bull.* de 1893, p. 126) qu'il fallait attribuer les curieuses observations de *lueurs vertes* signalées par M. Chauveau dans des conditions bien déterminées.

M. Raveau a observé un phénomène très différent de celui que décrit M. Pellat. Au moment où le bord supérieur du soleil venait de disparaître, il a vu la *mer* s'éclairer, pendant un temps très court, d'une lueur verte; cette lueur a occupé d'abord un petit triangle, ayant sa base sur l'horizon, à l'endroit où s'était évanouie la petite ligne lumineuse qui constituait la dernière partie visible du disque du soleil. La région éclairée s'est graduellement resserrée vers l'horizon et a disparu, l'ensemble du phénomène ressemblant à l'écoulement rapide d'un liquide lumineux. Rien n'a semblé indiquer que ces apparences soient dues à un effet de contraste.

Sur la transformation des rayons X par les différents corps, par M. Hurmuzescu. — L'action photographique des rayons X est renforcée par la présence de certains corps métalliques, placés au voisinage de la plaque sensible. Avec des tubes de Crookes de plus en plus forts, on observe la même propriété pour d'autres corps : verre, papier, etc.; ces actions sont dues à des rayons X *transformés*.

On a étudié ces rayons transformés en les faisant pénétrer, à travers une lame d'aluminium de $0^{mm},1$ d'épaisseur, dans la cage d'un électroscope et en mesurant le temps nécessaire pour que l'angle des feuilles descendît d'une valeur initiale, toujours la même, à une même valeur finale.

En interposant un même corps sur le trajet des rayons incidents et des rayons transformés, on constate que les seconds sont beaucoup plus absorbables que les premiers. L'intensité des rayons transformés (rapportée à celle des rayons du zinc) varie avec la nature du tube et son état. Les rayons transformés produits par un corps sont de préférence absorbés par ce corps; chaque couche d'un corps agit pour transformer les rayons et pour les absorber; la radiation incidente pouvant être convertie en chaleur, il n'y a pas de relation simple entre l'énergie vibratoire absorbée et l'énergie vibratoire transformée.

L'ensemble des faits conduit à considérer que les rayons X sont transformés en d'autres rayons de plus grande longueur d'onde, cette transformation se faisant dans l'intérieur du corps, jusqu'à une certaine épaisseur limite.

M. G. Sagnac rappelle l'importance de l'*absorption énergique* éprouvée, *même dans l'air atmosphérique* par les rayons secondaires issus d'un métal lourd, frappé par les rayons X. Ce phénomène capital, signalé dès le début par M. G. Sagnac (*Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, du 26 juillet 1897), est une des circonstances grâce auxquelles l'action électrique des rayons secondaires resta inconnue avant les expériences de M. G. Sagnac. Il rappelle comment le faisceau secondaire *très hétérogène*, d'un métal lourd, est

dépouillé, par l'air et les différents corps traversés, principalement de ses groupes de rayons les plus absorbables, qui sont précisément *les plus actifs* photographiquement et électriquement. Ce sont ces particularités très importantes qui paraissent avoir empêché Röntgen de découvrir la transformation[1] des rayons X. Dans les expériences de M. Hurmuzescu, le seul fait que l'électroscope reçoit les rayons secondaires à travers une paroi d'aluminium d'épaisseur notable (0,1 millimètre) suffit à réduire l'action électrique secondaire du fer, par exemple, à *moins* que celle de la paraffine, tandis qu'elle est réellement *beaucoup plus considérable* que celle de la paraffine, si l'on a soin d'opérer sur le faisceau secondaire du fer peu ou point dépouillé de ses rayons les plus actifs. L'ordre d'activité des différents corps n'a de signification simple que dans ces dernières conditions [2].

D'ailleurs, la simple étude des actions électriques secondaires dans les conditions où a opéré M. Hurmuzescu ne peut faire reconnaître ni l'*existence*, ni le *sens* de la *transformation* des rayons X. Il ne suffit même pas de compléter ces expériences par des mesures de coefficients de transmission des rayons ; car on peut avoir, dans les conditions où a opéré M. Hurmuzescu, des rayons secondaires *plus pénétrants* que l'*ensemble* du faisceau des rayons X incidents, bien que la transformation des rayons X rende toujours les rayons *moins pénétrants* que les rayons *générateurs*. M. Sagnac rappelle quel est, parmi les phénomènes qu'il a découverts, celui qui fournit la *démonstration* la plus directe et la plus précise de la *transformation des rayons X* [*influence de l'ordre des filtrations* [3], *définition d'un coefficient c caractéristique de la transformation* [4]].

M. Sagnac rappelle enfin que, contrairement à ce que suppose M. Hurmuzescu, il existe une relation nécessaire entre l'absorption des rayons transformés par le corps qui les émet et l'échauffement de ce corps.

Sur le spectroscope à échelons. — M. A. Michelson rappelle qu'il a décrit, il y a six ans, devant la Société, un réfractomètre interférentiel qui permettait d'aller beaucoup plus loin que tous les réseaux connus dans l'étude de la constitution des raies spectrales. Le seul inconvénient de cet appareil est la durée de l'ensemble de mesures qu'il exige ; mais il est assez grave pour que M. Michelson se soit préoccupé de créer un appareil spectroscopique direct, en perfectionnant les réseaux. On augmente le pouvoir de résolution d'un réseau en accroissant le nombre des traits, à condition que les intervalles soient réguliers. M. Michelson a construit, avec M. Stratton une machine à diviser dans laquelle on corrige les défauts de la vis par l'observation de franges d'interférence, et espère bientôt pouvoir opérer sur une longueur de 40 centimètres. Il ne paraît pas impossible d'arriver à

(1) Cf. G. Sagnac, *Eclairage électrique*, 14 janvier 1899, p. 41 et 42.

(2) G. Sagnac, *Comptes Rendus*, 27 février 1899.

(3) *Société française de Physique*, 17 décembre 1897 ; *Comptes Rendus*, 6 décembre 1897 et suiv.

(4) *Comptes Rendus*, 27 février 1899 ; *Société française de Physique*, 6 janvier 1899 ; *l'Eclairage électrique*, 14 janvier 1899, p. 65.

donner aux sillons une forme telle que la plus grande partie de la lumière soit concentrée dans un seul spectre.

Il semble qu'on arriverait plus facilement à ce résultat en empilant des lames d'égale épaisseur dont chacune serait en saillie sur la précédente; le seul point délicat est de rendre uniforme et constante l'épaisseur des couches d'air qui séparent les lames. Cette complication disparaît si l'on opère, non plus par réflexion, mais par transmission. Soient t l'épaisseur des lames de verre, s la saillie de chaque lame sur la précédente, n le nombre des échelons, et b un coefficient dont la valeur, qui dépend de l'indice du verre, est comprise entre 0,5 et 1; le pouvoir de résolution, mesuré par l'écart, évalué en longueurs d'onde des deux radiations les plus voisines qu'on puisse séparer, est :

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{bnt},$$

n étant le nombre des échelons. La distance angulaire des spectres est $\frac{\lambda}{bt}$; elle est très petite, ce qui ne permet d'examiner que des raies fines; avec des lames de 7 millimètres d'épaisseur, on est limité à $\frac{1}{14}$ de la distance des raies $D_1 - D_2$.

M. Michelson a construit trois spectroscopes à échelons, qui permettent de dédoubler des raies dont la distance serait respectivement $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{500}$ et $\frac{1}{900}$ de celles des raies $D_1 - D_2$. L'étude de l'intensité montre qu'on voit en général deux spectres; on peut amener l'un au maximum d'éclat en faisant disparaître l'autre.

M. Michelson indique comment on pourrait, en noyant les échelons dans l'eau, augmenter beaucoup l'écart des spectres successifs; il expose des projets de construction de spectroscope à échelons dans lesquels, pour éviter l'absorption, on opérerait par réflexion. M. Michelson termine en remerciant MM. Broca, Nogué et Pellin pour le concours qu'ils lui ont prêté dans l'installation de ses expériences.

M. Pellin fait voir, au moyen d'un appareil de M. Michelson, le détriplement d'une raie du mercure, dans un champ magnétique.

SÉANCE DU 5 MAI 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. ALLARD, docteur en médecine, à Paris.
BERGONIER, préparateur de physique à la Faculté de médecine de Bordeaux.
DE HEMPTINNE (Alexandre), à Gand (Belgique).
LAFAY (capitaine), adjoint à l'Atelier de précision, représentant la section technique de l'Artillerie, à Paris.
LEMESLE, professeur et secrétaire de l'Ecole de médecine et de pharmacie d'Angers.
MYCKINE, professeur de physique à l'Institut agronomique de Norwaya-Alexandria (Russie).

M. L'ABBÉ BROUCQUIER adresse une note où il étudie les effets produits sur l'oreille quand, dans le son émis par un instrument disposé pour donner à la fois toutes les notes d'une ou de plusieurs gammes, on supprime successivement, d'après un rythme déterminé, telle ou telle note. On peut rapprocher le phénomène de celui que l'on obtient en supprimant dans la lumière émise par une source composée telle ou telle radiation.

La loi du mélange des gaz, nouvel appareil de démonstration; par M. PAUL SACERDOTE. — L'expérience classique de Berthollet avait conduit à admettre que : « Le mélange (à température et volume constants) de deux « gaz primitivement à la même pression s'effectue sans variation de pres- « sion. » M. Leduc, en se basant sur des expériences indirectes concernant les densités des gaz, était arrivé à cette conclusion que la loi de Berthollet n'est pas vraie, en général.

M. Sacerdote rappelle une première série d'expériences qu'il a faites avec un « biballon » (répétitions de l'expérience de Berthollet, mais avec beaucoup de précision dans les mesures) et qui lui a donné les résultats suivants : le mélange est accompagné d'une augmentation de pression, négligeable pour ($CO^2 + Az^2O$), de $0^{mm},21$ de mercure pour ($H + O$) et de $1^{mm},36$ de mercure pour ($CO^2 + SO^2$).

M. Sacerdote vient d'imaginer et de faire construire par M. V. Chabaud un *appareil de démonstration*, qui permet de montrer à un auditoire, par une expérience de quelques minutes, cette augmentation de pression qui accompagne le mélange des gaz. Il présente l'appareil à la Société et réalise devant elle l'expérience pour l'*hydrogène* et le *gaz sulfureux*, dont le mélange produit une *dénivellation de plus de* 2 *centimètres* au mano-

mètre à *acide sulfurique* de l'appareil (correspondant à près de 4 millimètres de mercure).

2° *Cohéreurs régénérables très sensibles de MM.* Blondel *et* Dobkevitch. — A. Broca fait connaître quelques-uns des résultats des recherches de M. A. Blondel sur les cohéreurs. Celles-ci ont eu pour but principal de comparer les divers métaux à employer pour les limailles et pour les électrodes pour réaliser la sensibilité pratique maxima.

Les tubes avaient 2 à 3 millimètres de diamètre intérieur, comme ceux de Marconi, car c'est la force électromotrice agissante qui semble jouer le rôle essentiel plutôt que la densité de courant dans la limaille ; on se plaçait dans les conditions de la pratique en mettant une résistance d'un millier d'ohms en série avec un élément Leclanché et avec le tube.

Si l'on a soin d'employer des électrodes en *platine* bien propres, on reconnaît tout de suite que les métaux employés pour la limaille ne conviennent que s'ils sont légèrement oxydables à l'air; l'argent, l'or, le platine, en limaille, ne décohèrent pas ; les métaux oxydables décohèrent d'autant mieux qu'ils sont plus oxydés ; mais le maximum de la sensibilité s'obtient quand ils ne le sont que très peu. Les expériences ont confirmé que le phénomène de cohérence est bien dû, suivant les idées de Lodge, à une sorte de soudure électrique, produite par des étincelles minuscules qui percent la couche isolante. M. Blondel a obtenu, en effet, les mêmes résultats en sulfurant la surface d'un métal inoxydable, l'argent, expérience qu'il a publiée au mois d'août dernier, et que M. Tissot a fait connaître plus récemment; mais il considère la limaille d'argent sulfuré comme peu réglable et médiocre pour les applications.

Les métaux non oxydables peuvent réciproquement être associés à des électrodes oxydables ; c'est alors à ces dernières qu'il faut attribuer le phénomène. Si M. Branly a signalé des effets de cohérence et de décohérence avec la limaille d'or, c'est sans doute parce qu'il n'opérait pas, comme M. Blondel, entre des électrodes de platine.

Enfin les meilleurs résultats paraissent être obtenus non pas avec des métaux purs, mais avec des alliages formés d'un métal inoxydable additionné d'une petite quantité d'un métal oxydable.

M. Branly a proposé les alliages d'or et de cuivre ; M. Blondel avait poursuivi indépendamment, avec le concours de M. Dobkevitch, des essais sur les alliages d'argent avec le cuivre ou le nickel et sur le fer chromé ; ces divers produits donnent d'excellents résultats, et on peut régler l'oxydation aisément au degré voulu, surtout avec les alliages d'argent et de cuivre, grâce au changement de teinte qui permet de reproduire aisément toujours un même degré d'oxydation avant de sceller le tube et d'en évacuer l'air.

Il est essentiel en effet, pour la conservation d'un cohéreur, de faire le vide ; un perfectionnement important apporté par M. Blondel dans la construction des tubes, et qui permet de les régler une fois ce vide établi, consiste dans l'addition d'une poche en verre pleine de limaille et abou-

tissant à l'espace réservé entre les électrodes ; on peut ainsi, en renversant le tube, régler à volonté la quantité de limaille interposée et la renouveler, d'où le nom de *cohéreurs régénérables*.

M. Broca présente des tubes de ce système exécutés fort habilement par M. Dobkevitch et remplis d'alliage d'argent ; ils cohèrent sous l'influence d'une simple étincelle de sonnerie, alimentée par un élément Leclanché à 3 ou 4 mètres de distance, et ils décohèrent avec précision, au moindre choc.

M. Broca signale en même temps que M. Blondel a publié, au dernier Congrès de l'Association française, une théorie des antennes dans la télégraphie sans fil, différente de la sienne, et dont les conclusions semblent contredire un peu celles de M. Tissot, en ce qui concerne les antennes horizontales. D'après cette théorie très simple, l'antenne, dans son ensemble, est un centre d'ébranlement donnant lieu à des lignes de force magnétiques circulaires se propageant dans des plans perpendiculaires à l'antenne. Quand les antennes sont verticales, les ondes glissent à la surface du sol sans être absorbées, parce que les lignes de force électriques sont normales à cette surface ; elles sont, au contraire, parallèles quand les antennes sont horizontales. La terre joue par rapport aux antennes verticales le rôle d'un miroir ; l'antenne de l'émission est ainsi simplement équivalente à un excitateur de Hertz rectiligne, et l'antenne réceptrice à un résonateur rectiligne du type de M. Joubert. La formule de Neuman suffit à montrer que la force électromotrice, induite dans l'antenne réceptrice, est proportionnelle au produit des longueurs des antennes.

3° *Sur la décomposition d'un courant à haut potentiel en une série de décharges disruptives.* — M. Abraham présente à la Société un certain nombre de documents photographiques, qu'il a eu occasion de réunir dans ces dernières années sur la *décomposition d'un courant à haut potentiel en une série de décharges disruptives*.

L'auteur rappelle d'abord que ce phénomène, déjà observé par du Moncel et, depuis, par différents expérimentateurs, s'obtient en mettant un condensateur et un déflagrateur en connexion avec les pôles d'un transformateur à haut voltage. L'étincelle peut être aisément analysée par le miroir tournant et la photographie.

1° Si l'on utilise un courant alternatif un peu intense, une véritable *flamme* s'établit en régime stable entre les électrodes du déflagrateur. Un point essentiel est que cette flamme ne met nullement le transformateur en *court-circuit*.

Une flamme de 2 centimètres donne par exemple :

$$E = 2.550 \text{ volts} \quad \text{pour} \quad I = 48{,}5 \text{ milliampères.}$$

On observe d'ailleurs une augmentation de voltage quand on diminue l'intensité :

$$E = 3.400 \text{ volts} \quad \text{pour} \quad I = 20 \text{ milliampères.}$$

2° Si l'intensité du courant diminue progressivement, il est impossible que le régime de la flamme stable puisse se maintenir constamment, car il arriverait nécessairement un moment où, pour se charger au potentiel E, le condensateur absorberait plus d'électricité que n'en débite le courant I. A ce moment, on sera nécessairement passé à un régime de décharges disruptives.

3° Dans le nouveau régime, le condensateur se charge au début de chaque demi-période du courant. Il se décharge brusquement quand il a atteint un voltage suffisant, et cette décharge disruptive est capable d'amorcer une *flamme* qui durera jusque vers la fin de la demi-période. Mais si, à l'instant de la décharge, le courant n'a pas l'intensité nécessaire pour l'entretien de la flamme, celle-ci ne s'établira qu'après deux décharges ou trois... ou ne s'allumera plus, et le courant à haut voltage se sera spontanément décomposé en une succession de décharges disruptives.

4° Seulement, si ces décharges sont un peu nombreuses, elles ne correspondent pas à des quantités d'électricité égales, car le potentiel explosif est plus grand dans de l'air *neuf* que dans celui qui vient d'être intéressé par une étincelle.

Au contraire, si l'on injecte un courant d'air dans le déflagrateur, l'air modifié est éliminé après chaque étincelle. Alors les décharges successives deviennent égales, leur fréquence est à chaque instant proportionnelle à l'intensité du courant; en raison inverse de la capacité du condensateur... bref, cette décomposition du courant en décharges disruptives devient un phénomène régulier, qui se maintient dans de très larges limites de stabilité et qui se produit exactement tel qu'on peut le calculer *a priori*.

5° Après avoir encore montré la différence d'action du soufflage sur l'étincelle produite soit entre boules, soit entre pointes, l'auteur termine en projetant la photographie d'une étincelle insuffisamment soufflée; on voit une multitude de décharges éclater l'une après l'autre dans une même masse d'air chaud qui s'éloigne jusqu'à ce que l'étincelle recommence à passer directement d'une électrode à l'autre, sans aller suivre un chemin détourné devenu trop long.

SÉANCE DU 16 MAI 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Alfred DE QUERVAIN, assistant à l'Observatoire météorologique de Trappes (Seine-et-Oise).

M. le Président annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle vient de faire en la personne de M. *Dupré*, inspecteur honoraire d'Académie, ancien professeur au lycée Charlemagne, et de M. *Lebard*, professeur au lycée d'Angoulême.

M. Édouard Branly, à l'occasion de la communication de M. *Blondel*, insérée dans le résumé de la dernière séance de la Société de Physique, rappelle qu'il a fait connaître les propriétés des radioconducteurs à *alliages d'or et de cuivre*, dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 26 décembre 1898. Dans cette note il décrit en détail des expériences effectuées avec ces radioconducteurs. M. Branly les a fait fonctionner devant la Société de Physique, en février 1899. Depuis lors il n'a cessé de les employer parce qu'il les a trouvés supérieurs à tous les autres par leur sensibilité et la régularité de leur retour. Comme il n'est pas nécessaire de fermer les tubes pour reconnaître leurs propriétés et que le réglage peut se faire aisément à la main, chacun répétera ces expériences avec la plus grande facilité.

Les tachymètres à liquide de M. Vedovelli, par M. G. Thuillier. — Le tachymètre liquide est basé sur la forme que prennent les surfaces de niveau et en particulier la surface libre des liquides soumis à un mouvement de rotation uniforme, dans des vases affectant la forme de surface de révolutions. L'appareil construit est un cylindre de révolution. Le liquide employé est la glycérine. Sa graduation se fait soit par comparaison, soit graphiquement. L'influence de la non-verticalité de l'axe de rotation ne se fait pas sentir pratiquement pour des angles de 1° à 3° environ.

L'appareil est rendu industriel et peut servir à indiquer la vitesse de toute machine, quelle qu'en soit la position par rapport à une position fixe de l'appareil.

Sur quelques théories relatives à l'électricité atmosphérique, par M. Chauveau. — Le nombre des hypothèses émises, depuis l'expérience de Franklin, sur l'origine de l'électricité atmosphérique, est considérable. On en compte aisément plus de trente aujourd'hui. Aucune ne s'adapte complètement à tous les faits connus; mais doit-on chercher une cause unique à un phénomène aussi complexe? N'est-il pas préférable d'admettre que plusieurs des causes invoquées peuvent intervenir et que, s'il en existe une d'ordre plus général, elle n'apparaîtra que si l'on tient compte des modifications apportées à ses effets par les causes secondaires?

Pour déterminer les causes qu'il convient de retenir, il est nécessaire de préciser d'abord exactement les points que l'on peut considérer comme acquis et de signaler ceux qui restent douteux dans l'étude expérimentale, encore si incomplète, de l'électricité atmosphérique :

1° Sur la direction du champ.

2° Sur la variation de la valeur moyenne du champ au voisinage du sol avec la position géographique. Sur ce point, en dehors des régions tempérées où cette valeur moyenne est assez bien connue et varie peu, les données que nous possédons sont fort incertaines. Toutefois, il faut signaler deux bonnes séries d'observations, l'une de plusieurs années, à l'Observatoire de Batavia, pour les régions équatoriales, l'autre, pour les régions polaires, de dix mois seulement, au cap Thordsen (Spitzberg), à la latitude de 78°. Cette dernière, un peu courte, mais qui paraît avoir été faite avec le plus grand soin, est due à l'explorateur Andrée, attaché alors à la mission suédoise dans l'une des expéditions polaires internationales de 1882-1883. C'est de beaucoup le meilleur document que nous ayons sur ces régions.

D'après ces observations et quelques autres de moindre valeur, le champ paraît notablement plus faible que dans les régions tempérées, aussi bien au voisinage de l'équateur que sous les latitudes élevées. Si l'on tient compte des résultats, un peu suspects il est vrai, obtenus par Wijkander dans la même région qu'Andrée, mais à une latitude un peu plus haute (80°), il paraît probable que ce champ subit, quand on se rapproche du pôle et à partir d'une certaine latitude, une diminution très brusque, jusqu'à devenir sensiblement nul et peut-être même à changer de signe. Mais ces conclusions restent douteuses.

3° Sur la variation diurne. M. Chauveau rappelle les résultats de ses recherches sur ce sujet. Ils ont fait l'objet d'une communication précédente et se résument ainsi : L'oscillation double généralement admise ne représente pas la loi véritable de la variation diurne. L'oscillation diurne est simple, avec un maximum de jour et un minimum vers quatre heures du matin. Dans les conditions ordinaires de l'observation, elle se trouve compliquée par l'influence d'une cause secondaire due au voisinage du sol.

4° Sur la variation du champ avec l'altitude. Les expériences en ballon faites dans ces dernières années, par M. Lecher et par M. Tuma d'une part, par M. Börnstein, M. Baschin et M. Le Cadet de l'autre, fixent l'état de nos connaissances sur ce point. Il résulte de ces observations que, si dans les couches basses et jusqu'à quelques centaines de mètres le champ va en augmentant, cet accroissement cesse quand l'altitude augmente et le champ diminue.

La concordance des résultats obtenus ne paraît laisser aucun doute sur ce fait dont l'importance théorique est considérable. On en conclut, en effet, d'après le théorème de Poisson, l'existence de masses positives dans les régions élevées de l'atmosphère, tandis que les masses négatives dominent dans les couches inférieures.

M. Chauveau examine ensuite dans quelle mesure quelques-unes des théories les plus importantes concordent avec ces faits.

L'hypothèse de Peltier d'une dissipation partielle de l'électricité négative du globe par la vapeur d'eau est insuffisante ; mais elle fournit l'explication la plus simple de l'état électrique des couches basses. Appuyée par

les expériences récentes de M. Pellat, elle paraît s'imposer comme cause secondaire.

Il en est de même de l'électrisation positive de la région des cirrus, soit par le frottement de l'air humide contre les aiguilles de glace qui forment ces nuages, suivant les idées de M. Sohncke, soit par l'action des radiations ultra-violettes sur ces mêmes aiguilles (dans l'hypothèse d'un champ électrique préexistant), suivant l'ingénieuse conception de M. Brillouin.

Aucune de ces théories ne fournit d'explication suffisante de la prédominance des masses positives aux altitudes moyennes de 1000 à 4000 mètres, auxquelles se rapportent les mesures de MM. Börnstein, Baschin et Le Cadet. On la trouverait peut-être dans le développement d'une hypothèse de M. Lénard sur l'électrisation positive de l'air au-dessus des océans par l'effet du mouvement des vagues et de l'éparpillement des gouttelettes d'eau à leur surface. Cette hypothèse, basée sur une étude expérimentale très approfondie des conditions dans lesquelles peut se produire le champ électrique constaté au voisinage des chutes d'eau, doit être prise en sérieuse considération, bien qu'il soit actuellement impossible de se prononcer sur sa valeur réelle.

Parmi les autres théories relatives à l'origine de l'électricité atmosphérique, il faut appeler particulièrement l'attention sur celle que M. Edlund a déduite d'une interprétation théorique particulière de certains phénomènes d'induction, découverts par Weber et désignés, assez improprement, sous le nom d'induction unipolaire. L'intérêt que présente la théorie de M. Edlund résulte de ce fait qu'elle s'adapte remarquablement bien à l'explication des aurores polaires dont l'origine électrique n'est pas douteuse. M. Chauveau la résume et fait remarquer que, fondée sur une hypothèse que rien n'autorise dans l'état actuel de la science, elle ne saurait être retenue comme une théorie de cause, mais qu'il n'est pas impossible qu'elle intervienne, dans un champ électrique déjà existant, comme une sorte de régulateur des effets dus aux causes véritables.

A ce point de vue, la confirmation des résultats obtenus par M. Rowland sur la production de courants par entraînement mécanique d'un corps électrisé aurait une importance considérable.

DÉCISION DU CONSEIL.

Le Conseil a décidé que la Société enverrait à Sir *George Gabriel Stokes* une adresse et se ferait représenter aux fêtes du Jubilé de l'illustre physicien, membre honoraire de la Société.

M. Lippmann, ancien Président de la Société, et M. Deslandres, membre du Conseil, ont bien voulu se charger de représenter la Société en cette circonstance.

SÉANCE DU 2 JUIN 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le compte rendu de la séance du 16 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. CASSAN (Antony), Docteur en médecine à Quimper (Finistère).

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Ed. Jannettaz*, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL communique à la Société une lettre où M. *Abraham* rappelle qu'il existe un tachymètre à liquide de M. Hodges, très voisin de celui qui a été précédemment montré à la Société et qui se trouve décrit dans *la Lumière électrique* de 1885, tome XVII, page 85.

Appareil à combustion pour prendre le potentiel de l'air; par H. PELLAT. — L'appareil se compose d'un tube cylindrique de laiton ayant environ 25 centimètres de hauteur et 20 centimètres de diamètre entouré en son milieu par une rampe à gaz circulaire, percée de trous très rapprochés de façon que les flammes soient contiguës.

Exposée même à un grand vent, la rampe ne s'éteint pas, une partie étant toujours protégée du vent par le cylindre et rallumant le reste de la rampe dès que le coup de vent a cessé. L'expérience a été faite sur le sommet de la tour de la Sorbonne par un vent violent.

Cet appareil obéit très rapidement aux variations de potentiel de l'air. Par une expérience de laboratoire on a constaté qu'une variation de potentiel produite artificiellement dans l'air était accusée à $\frac{1}{250}$ près au bout de quinze secondes. Avec un appareil à écoulement d'eau débitant 60 litres en vingt-quatre heures, il faudrait, pour avoir le même résultat, un temps 25 fois plus long.

Le débit électrique de l'appareil à combustion étant beaucoup plus grand que celui de l'appareil à écoulement, l'isolement n'a pas besoin d'être aussi parfait : de simples supports en ébonite, protégés contre la pluie par un système en cloche analogue à celui des supports télégraphiques, suffisent parfaitement.

M. Pellat fait remarquer, en terminant, que la lenteur d'indication de l'appareil à écoulement d'eau est un avantage dans le cas où l'on ne désire avoir que des moyennes; les indications étant débarrassées des brusques variations du potentiel, ou celles-ci étant très atténuées. Mais, si l'on veut étudier ces brusques variations, l'appareil à combustion s'impose.

Sur une nouvelle mesure de l'arc du Pérou. — M. le Général Bassot expose rapidement l'histoire des grandes opérations géodésiques; il rappelle que la mesure de l'arc du Pérou et de l'arc de Laponie ont été entreprises par l'Académie des Sciences dans le but de vérifier si, conformément à la théorie de Newton, la terre était aplatie vers les pôles, c'est-à-dire si la longueur du degré allait en croissant à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur. Les résultats de ces travaux, de même que les mesures de la méridienne de Delambre et Méchain, ne présentent pas assez de précision pour qu'on puisse les comparer aux travaux modernes. L'arc de Paris a été mesuré de nouveau, et la triangulation française a été reliée à celle de l'Angleterre et de l'Espagne; en 1879, on a poussé jusqu'à l'Afrique, et les mesures portent actuellement sur un arc allant des îles Shetland jusqu'à Laghouat; cet arc sera bientôt continué jusqu'à Ouargla, par Gardaïa, et mesurera près de 30°. On a reconnu aussi la nécessité de refaire des mesures du degré sous des latitudes aussi distantes que possible; la Russie et la Suède s'occupent actuellement de mesurer un arc de 4 ou 5° dans des régions encore plus septentrionales que celles où a été étudié l'arc de Laponie. Pour les mesures équatoriales, on a d'abord proposé le Congo; mais le relief du terrain est insuffisamment mouvementé pour l'établissement des signaux. En 1889, à la réunion de l'Association géodésique internationale tenue à Paris, un géodésien américain, M. Davidson, a insisté sur l'intérêt que présenterait une nouvelle mesure de l'arc du Pérou; il a déclaré que les Etats-Unis, tout en reconnaissant le privilège de la France, étaient prêts à exécuter ce travail, si la géodésie française ne l'entreprenait pas. Des négociations furent alors entamées avec la République de l'Equateur, dont le territoire occupe actuellement la région où Bouguer, La Condamine et Godin avaient étudié leur arc; ces négociations laborieuses venaient d'aboutir, lorsque le Président de la République de l'Equateur fut déposé par une révolution. En 1898, à Stuttgart, un autre géodésien américain, M. Preston, tenait le même langage que M. Davidson; M. Faye saisissait de nouveau les pouvoirs publics de cette mise en demeure, et la nouvelle mesure de l'arc du Pérou était décidée. Deux officiers, les capitaines Maurain et Lacombe, du Service géographique de l'armée, sont partis à destination de Quito, dans le but de faire une enquête sur les conditions dans lesquelles pourra s'effectuer la nouvelle mesure ; la République de l'Équateur a promis son concours moral. Quand cette première expédition, qui doit durer environ cinq mois, sera terminée, on demandera le vote des crédits nécessaires, et la France entreprendra encore une de ces grandes opérations qui l'ont mise autrefois hors de pair dans le domaine de la géodésie.

Le phonographe Stentor *de MM. Pathé frères.* — M. Dussaud, au nom des Etablissements Pathé frères, présente un nouveau phonographe dont les résultats, dit-il, sont supérieurs à ce qui a été fait jusqu'à ce jour dans ce domaine, par l'intensité et la pureté des sons et des paroles qu'il émet. Ce progrès tout récent et considérable est dû, d'une part, au

diamètre plus grand des cylindres employés et, d'autre part, à la disposition nouvelle des diaphragmes enregistreurs et répétiteurs dans lesquels la chambre d'air et le tube porteur des sons sont établis suivant les lois rationnelles de l'acoustique. Le grand diamètre des cylindres permet aux mots de s'inscrire sur une surface plus grande et, par conséquent, avec plus de détails, ce qui augmente la qualité du timbre. D'autre part, le rayon de courbure étant plus grand, le style peut mieux pénétrer dans le sillon et donne une plus grande intensité aux sons reproduits. Les diaphragmes permettent aux sons d'arriver et de repartir sans faire de coude qui les déforme et les diminue; de plus, la nature et le montage des plaques vibrantes, ainsi que les dimensions de la chambre d'air, ont été très étudiées, afin d'éviter les vibrations accessoires discordantes des fondamentales; pour cela, on a réduit la chambre à une minime épaisseur et choisi un cristal très pur solidement fixé par ses bords. Le style est également tenu par un nouveau système d'attachement qui le rend très fixe et, d'autre part, évite des vibrations accessoires de la plaque vibrante.

Ces résultats sont dus aux longs efforts de MM. Grivolas et Pathé frères, qui ont fait du phonographe une étude rationnelle et scientifique, couronnée d'un plein succès, comme on peut en juger par les expériences d'enregistrement et de reproduction faites devant la Société.

SÉANCE DU 16 JUIN 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juin est lu et adopté.

Sur les actions mécaniques de la décharge disruptive, par M. W. DE NIKOLAIEVE ; note présentée par M. G. SAGNAC. — 1° La décharge électrique produit un canal allongé en éclatant à travers un tampon d'ouate, soit sèche, soit imbibée d'eau ou d'huile, en sorte que l'effet de l'explosion est le même dans les liquides que dans l'air ;

2° L'auteur a étudié la déformation et la perforation des feuilles métalliques par la décharge ; l'élévation de température et la perforation se produisent même quand la feuille métallique étudiée est pressée entre les électrodes sphériques de la batterie.

M. G. Sagnac décrit, en outre, un dispositif de M. de Nikolaieve, qui permet de démontrer la rotation électro-magnétique d'un électrolyte.

Mesures sur le microphone. — M. CAURO expose les résultats d'un travail d'ensemble qu'il a entrepris pour mesurer les divers éléments tant acoustiques qu'électriques qui interviennent dans la transmission d'un son musical par le microphone.

Le circuit primaire comprenait la pile, un microphone d'Arsonval à réglage magnétique, le primaire de la bobine d'induction et une résistance auxiliaire. Le circuit secondaire comprenait, outre le secondaire de la bobine, deux téléphones au départ, une ligne artificielle, deux téléphones, et le secondaire d'une bobine d'induction à l'arrivée. Ce qui réalisait les conditions de la pratique.

On se plaçait chaque fois dans le cas du son le plus fort susceptible d'être transmis sans crachements (ce qui est facilité par ce fait que le phénomène des crachements fait varier brusquement toutes les quantités qui interviennent), puis dans le cas d'un son que l'on pouvait entendre dans le téléphone par l'intermédiaire de l'air, enfin dans le cas du son le plus faible perceptible.

Les résultats ont toujours été extrêmement concordants, à condition d'attendre que l'état permanent fût établi, ce qui éliminait les phénomènes variables dus aux extra-courants et aux effets thermo-électriques.

L'amplitude de la vibration de l'onde sonore agissante étant de quelques centièmes de millimètre, la vibration de la plaque du microphone transmetteur et la vibration de la membrane du téléphone récepteur sont des fractions de micron.

L'intensité du courant dans le circuit primaire comprend un terme alternatif dont la valeur efficace est de 1/4 environ pour les sons les plus forts. Cette intensité efficace est à peu près proportionnelle à l'amplitude de l'onde agissante et ne semble pas dépendre de la hauteur du son.

La force électromotrice efficace en circuit ouvert dans le secondaire est d'environ 1v,5 pour les sons les plus forts dans le cas du La_3. Elle varie sensiblement comme l'amplitude de l'onde sonore, et en raison inverse de la période.

La différence de potentiel aux bornes du téléphone récepteur est représentée, dans le cas du son le plus fort, par des centièmes de volt et l'énergie absorbée par des millioniémes de watt.

L'intensité efficace du courant secondaire est de l'ordre des cent millièmes d'ampère pour le son le plus fort et descend au-dessous du millionième d'ampère pour des sons très nettement perceptibles. Elle est sensiblement proportionnelle à l'amplitude de l'onde sonore et ne semble pas varier avec la période.

L'action sur la membrane téléphonique étant proportionnelle à l'intensité du courant, le déplacement de cette membrane sera proportionnel à l'amplitude de l onde agissante et ne dépendra pas de la période.

On peut conclure de ces résultats expérimentaux, que les sons ne doivent pas être modifiés d'une façon différente par le téléphone et, par suite, que le timbre ne doit pas être trop altéré dans le cas d'un son musical complexe.

Les moyens d'étudier l'atmosphère dans la verticale (*cerfs-volants et ballons-sondes*). — M. L. Teisserenc de Bort expose comment on arrive à étudier l'atmosphère à diverses hauteurs par l'emploi des cerfs-volants et des

ballons-sondes portant des instruments enregistreurs. Les cerfs-volants employés sont généralement de forme cellulaire et ressemblent assez à une boîte n'ayant ni fond ni couvercle, dont les parois seraient faites d'étoffe vernie avec un large ajourage au milieu de la boîte. Ce modèle, dû à M. Hargrave, est très employé en Amérique, où l'usage du cerf-volant pour la météorologie a pris une grande extension. L'observatoire de Blue Hill a déjà fait d'importants travaux avec ces cerfs-volants, et on a pu reconnaître que certaines variations de température se faisaient sentir à 2.000 mètres d'altitude plusieurs heures avant d'arriver au sol. Les altitudes maxima atteintes ont été 3.685 et 3.802 mètres. L'Observatoire de Météorologie dynamique procède depuis deux ans à des sondages par cerfs-volants par les mêmes méthodes que M. Rotch à Blue Hill. Ces sondages faits à Trappes montrent que la force du vent dans les aires de haute pression diminue beaucoup entre 2.000 et 3.500 mètres, et que l'existence, dans l'après-midi, d'une variation de température très lente ou même négative dans la verticale jusqu'à 1.000 ou 1.500 mètres est un signe presque infaillible de beau temps pour le lendemain.

Les hauteurs atteintes, qui, pendant la première année, étaient restées inférieures à 2.000 mètres, ont pu être portées beaucoup plus haut et, dans ces derniers jours, on a atteint l'altitude de 3.860 mètres, dépassant ainsi un peu la hauteur obtenue en Amérique.

L'orateur indique les perfectionnements apportés au matériel et, notamment, l'emploi, à Trappes, d'un treuil mû par l'électricité, qui fonctionne avec une régularité parfaite.

Comme les cerfs-volants exigent la présence du vent et ne montent qu'à de faibles hauteurs, il faut avoir recours au ballon-sonde pour étudier l'atmosphère d'une façon plus complète. L'emploi de ces ballons a été proposé, comme on le sait, par M. le colonel Renard, et des expériences très intéressantes ont été faites depuis quelques années par MM. Hermitte et Besançon, si bien qu'une entente internationale a eu lieu à la suite de ces travaux et qu'à certaines dates choisies des ballons s'élèvent de Paris, Berlin, Strasbourg, Vienne, Munich, Saint-Pétersbourg. Ces expériences sont en petit nombre et séparées par de longs intervalles, en sorte que M. L. Teisserenc de Bort, tout en y prenant part, a cherché à procéder à de fréquents sondages méthodiques avec des instruments bien semblables et par toutes les situations météorologiques.

Dans l'intervalle de quatorze mois, plus de 80 ballons ont rapporté des courbes de température et de pression. La hauteur de 13.000 mètres a été atteinte 19 fois, celle de 14.000 mètres 3 fois, celle de 15.000 mètres 2 fois.

En limitant la discussion aux altitudes inférieures à 10.000 mètres, qui ont été atteintes très souvent, les observations montrent que, dans les 6 ou 7 premiers mille mètres, la température décroît rapidement ; quand on s'élève dans une aire de basse pression, la variation est voisine de celle qui est due à la détente adiabatique.

On voit aussi que les différences d'un jour à l'autre peuvent être plus

considérables à 7 ou 8.000 mètres qu'au sol, contrairement à ce que l'on avait pensé. La plus basse température atteinte a été de — 67°, le 29 mars, à 12.600 mètres; au sol, le thermomètre marquait — 9°.

Plusieurs perfectionnements importants ont été apportés à la technique des ballons-sondes, perfectionnements qui sont en voie d'adoption à l'Etranger.

SÉANCE DU 7 JUILLET 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 16 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. E. PÉROUX, capitaine d'Infanterie de marine en retraite, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Roger*, chef d'institution honoraire.

Sur le mélange des gaz. — M. DANIEL BERTHELOT rappelle que, lors du mélange de deux gaz, il se produit en général une faible augmentation de pression Δp. Il a cherché à calculer Δp en imaginant une suite d'opérations telle que la diffusion se fasse à l'état gazeux parfait. Il est nécessaire pour cela de connaître, en plus de la compressibilité des deux gaz séparés, celle du mélange. Cette donnée faisant défaut jusqu'ici, M. Berthelot a exécuté une série d'expériences en collaboration avec M. Sacerdote pour obtenir les coefficients d'écart, de divers mélanges, à la loi de Mariotte, et trouvé que les valeurs de Δp que l'on en déduit présentent un accord satisfaisant avec celles que donne l'expérience directe :

	$SO^2 + CO^2$	$H^2 + O^2$	$4Az + O$
Δp observé....	$1^{mm},36$	$0^{mm},20$	$0^{mm},00$
Δp calculé.....	$1^{mm},52$	$0^{mm},17$	$0^{mm},01$

L'auteur a cherché à aller plus loin et à calculer la compressibilité du mélange et, par suite, l'augmentation de pression Δp d'après les compressibilités des gaz séparés. Il admet que la compressibilité d'un mélange de x molécules d'un premier gaz avec $1 - x$ molécules d'un second gaz est représentée par la formule de Van der Waals ; que le covolume B du mélange est égal à la moyenne des covolumes b et b' des constituants :

$$B = bx + b'(1 - x),$$

et que l'attraction spécifique moléculaire s'obtient en écrivant que, si l'attraction réciproque de deux molécules du premier gaz est proportion-

nelle à a, celle de deux molécules du second à a', l'attraction d'une molécule du premier gaz sur une molécule du second est proportionnelle à $\sqrt{aa'}$, en sorte que :

$$A = ax^2 + 2\sqrt{aa'}\,x(1-x) + a'(1-x)^2.$$

Il arrive ainsi pour les coefficients d'écart à la loi de Mariotte A_2^1 entre 1 et 2 atmosphères à des valeurs voisines de celles qu'il a observées directement :

	$CO^2 + SO^2$	$H + O$	$4Az + O$
A_2^1 observé...	143×10^{-6}	-2×10^{-6}	5×10^{-6}
A_2^1 calculé....	149×10^{-6}	0×10^{-6}	5×10^{-6}

De même, les valeurs de Δp calculées concordent en général à $0^{mm},2$ près avec celles qu'ont obtenues MM. Braun, Leduc, Sacerdote et l'auteur :

	SO^2+H^2	SO^2+CO^2	CO^2+Az^2O	CO^2+H^2	CO^2+air	$H+O$	$4Az+O$
Δp observé.	$3^{mm},9$	$1^{mm},4$	$0^{mm},1$	$1^{mm},0$	$0^{mm},35$	$0^{mm},2$	$0^{mm},0$
Δp calculé..	$3^{mm},7$	$1^{mm},1$	$0^{mm},0$	$0^{mm},9$	$0^{mm},6$	$0^{mm},05$	$0^{mm},0$

Sur la liquéfaction de l'hydrogène; par M. Dewar. — M. H. Deslandres est allé représenter la Société française de Physique aux fêtes données, à Cambridge, en l'honneur du Jubilé du professeur Stokes, auquel il a remis en mains propres l'adresse de félicitations rédigée par M. le Secrétaire général. Il a assisté à une conférence faite à la *Royal Institution*, par M. Dewar, dont il a visité le laboratoire.

L'emploi de la détente, inauguré par M. Cailletet, a permis de liquéfier, à l'exception de l'hydrogène, les gaz autrefois réputés permanents. Ces gaz ont été réduits à l'état de liquides statiques par Wrobblewski et Olszewski, et les appareils récents de Linde et de Hampson permettent d'obtenir ces liquides en grande quantité. Olszewski a liquéfié l'hydrogène dans un appareil clos; le professeur Dewar a réussi, le premier, à obtenir l'hydrogène liquide persistant dans un vase ouvert. Dans la conférence à laquelle assistait M. Deslandres, on a produit 200 centimètres cubes de liquide. Une des grandes difficultés de la liquéfaction est la nécessité de préparer un gaz d'une pureté absolue; l'air qui subsiste se solidifie dans la détente et obstrue les serpentins. L'air atmosphérique se précipite en neige sur l'hydrogène liquide; il se condense également dans un tube barométrique qu'on plonge dans le liquide et on obtient ainsi un vide instantané.

La détermination des températures atteintes par l'ébullition de l'hydrogène sous pression réduite est très difficile, à cause de la présence de l'air solide et aussi parce que l'évaporation est extrêmement rapide; les divers appareils employés : pile thermo-électrique, résistance de platine ou de maillechort, ont donné des résultats différents; pourtant il semble probable que la loi de variation de la résistance du platine pur en fonction de la température subisse, à ces températures très basses, une modification profonde.

La liquéfaction de l'hydrogène est le résultat de deux ans de travaux poursuivis dans un laboratoire où tous les efforts tendaient à ce seul but;

l'abaissement relatif de température absolue qu'il fallait obtenir pour liquéfier l'hydrogène, en partant de la température de l'air liquide, était le même que pour liquéfier l'air en partant de la température de liquéfaction du chlore sous la pression atmosphérique.

Mesure des intensités des ondes sonores; par M. J. CAURO. — La source sonore est constituée par la caisse de résonance d'un diapason de M. Mercadier à entretien électrique, sur lequel est collé un petit miroir; par la réflexion d'un faisceau lumineux, on peut vérifier à chaque instant que l'amplitude du son n'a pas varié, et la retrouver assez longtemps après.

La comparaison des amplitudes des ondes sonores se fait par l'observation directe au moyen du microscope, en employant la méthode stroboscopique. Une membrane en baudruche caoutchoutée, très légèrement tendue, est placée sur un petit tambour : au centre est collé un petit disque de verre très léger, et perpendiculairement à celui-ci un fil de verre rigide portant à son extrémité une feuille d'aluminium mince percée d'un trou que l'on observe avec un bon microscope muni d'un micromètre oculaire. On stroboscope en éclairant par un faisceau qui est interrompu par un disque percé de trous. Au moment où la stroboscopie du diapason de la source sonore est atteinte, celle de l'image observée dans le microscope se produit aussi, et cette image reste au point constamment lorsque l'appareil est réglé, ce qui indique que le mouvement du style est une translation suivant sa propre direction et représente en vraie grandeur le mouvement du centre de la membrane.

En enlevant l'oculaire du microscope et en faisant réfléchir le faisceau émergent sur le miroir porté par le diapason de la source, de façon que les deux mouvements soient perpendiculaires, on obtient sur un écran les courbes de Lissajous ; on trouve toujours la forme caractéristique de l'unisson.

La membrane suit donc bien fidèlement le mouvement de l'onde sonore qui vient la frapper et permet de le mesurer.

Vibration des plaques téléphoniques. — M. J. CAURO a eu recours au phénomène des anneaux colorés et à la stroboscopie. Sur la plaque du téléphone on colle un petit disque de verre très mince, travaillé optiquement avec grand soin, et on forme (en lumière monochromatique) les anneaux, avec un plan de verre placé devant, à une distance de 2 millimètres environ, ce qui supprime les effets dus à la viscosité de l'air et à l'attraction des deux plaques. On envoie dans l'appareil le courant téléphonique ; les anneaux se brouillent; on leur rend leur netteté en stroboscopant. On les voit alors se mouvoir lentement. Au moyen d'un quadrillage formé sur la lame de verre qui est en avant, on peut mesurer le déplacement. Celui-ci a toujours été une fraction de frange dans les cas des sons les plus forts transmissibles sans crachements.

Le phénomène est trop petit pour qu'on puisse étudier comment il dépend des divers éléments : intensité du courant, hauteur du son, etc.

SÉANCE DU 3 NOVEMBRE 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 juillet est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. DE COPPET vient d'adresser à M. le Trésorier un chèque de 1.000 francs, destiné à couvrir une partie des frais d'impression du *Recueil des constantes physiques*. La Société adresse à ce généreux donateur ses plus vifs remerciements.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique, accompagnant l'envoi du programme du XXXVIIIe Congrès des Sociétés savantes, dont la séance d'ouverture est fixée au 5 juin 1900.

M. LE PRÉSIDENT annonce ensuite les pertes douloureuses que la Société a faites pendant les vacances :

M. *Neyreneuf*, professeur à la Faculté des Sciences de Caen, l'un des plus anciens membres de la Société, professeur très distingué, auteur de travaux remarquables sur l'acoustique; M. *Cavaillé-Coll*, le facteur d'orgues célèbre; M. *Cauro*, docteur ès sciences, ancien élève de l'Ecole polytechnique, agrégé de l'Ecole supérieure de Pharmacie, mort victime d'un accident, au cours d'une expédition scientifique au mont Blanc; il était l'auteur de remarquables recherches sur le téléphone et le microphone et avait fait, sur ce sujet, des communications très intéressantes, aux dernières séances de la Société.

Sur la variation séculaire de l'inclinaison magnétique dans l'antiquité, d'après les travaux de M. FOLGHERAITER, par M. PELLAT. — M. PELLAT présente un résumé des travaux de M. *Folgheraiter*, assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Rome, sur la variation séculaire de l'inclinaison magnétique dans l'antiquité.

Ce physicien a reconnu que l'aimantation, que l'on constate dans les briques ou poteries ferrugineuses, se produit au moment de la cuisson, et, par conséquent, est en rapport avec le champ magnétique, où se trouve alors placé la poterie.

Il a reconnu, en outre, que ce magnétisme est tout à fait rigide, que le champ magnétique terrestre ne peut plus le modifier, même après plusieurs siècles.

Des expériences, faites avec des vases qu'il avait façonnés et cuits lui-même, dans un champ magnétique terrestre bien connu, lui ont fourni des formules, qui, d'après l'étude du magnétisme développé dans le vase,

lui permettaient de retrouver l'inclinaison magnétique, avec une précision de 1° à 2°.

Appliquant cette méthode aux vases antiques conservés en grand nombre dans les musées nationaux, ou dans les collections particulières, et en ne choisissant que des vases d'époque bien déterminée et n'ayant pu avoir qu'une seule position dans le four de cuisson, il est arrivé au résultat très curieux que voici :

Au VIIIe siècle avant Jésus-Christ, l'inclinaison en Italie était faible et négative (23 vases étudiés).

Au VIIe ou Ve siècle avant Jésus-Christ, l'inclinaison d'une valeur négative très faible passe à une valeur positive faible ; au VIe siècle, l'inclinaison était nulle ; l'équateur magnétique passait alors par l'Italie (93 vases étudiés).

Au Ier siècle avant Jésus-Christ, l'inclinaison positive est sensiblement la même qu'aujourd'hui : 58° environ (19 vases étudiés).

Enfin, en l'an 79 de notre ère, l'inclinaison positive était plus grande qu'aujourd'hui et voisine de 66° (34 vases étudiés).

Ainsi l'inclinaison magnétique éprouve une oscillation d'amplitude considérable.

Sur le phénomene de Kerr ; par MM. ABRAHAM et LEMOINE. — Les liquides diélectriques, le sulfure de carbone par exemple, deviennent biréfringents quand on les place dans un champ électrique. Le liquide équivaut à un cristal dont l'axe est normal aux faces du condensateur où le liquide est placé. On le montre en faisant passer entre les lames un faisceau lumineux polarisé à 45° sur ces lames. Un nicol analyseur ne peut l'éteindre.

Quand on supprime le champ électrique, la biréfringence s'éteint-elle dans un temps inappréciable ? M. Blondlot a démontré, par une méthode fondée sur l'emploi du miroir tournant, que le phénomène optique ne subsistait plus de $\frac{1}{40.000}$ de seconde après la suppression du champ électrique. Les auteurs ont pu resserrer cet intervalle.

On charge le condensateur K (voir la figure page 156) en le mettant en communication avec les pôles P d'un transformateur à haut voltage. On le décharge brusquement dans l'étincelle E, qui est fractionnée par soufflage. Le courant de décharge est amorti par une résistance liquide R. Si on mesure la grandeur de la biréfringence pendant cette décharge, il faudra démontrer que cette biréfringence s'annule après un temps très court. MM. Abraham et Lemoine ont établi qu'elle diminue de moitié en $\frac{1}{400.000.000}$ de seconde, et qu'elle n'est plus mesurable après $\frac{1}{100.000.000}$ de seconde.

La mesure de la biréfringence se fait en employant comme source de lumière l'étincelle de décharge E. Cette étincelle est très lumineuse et de durée très courte. La lumière elliptique, qui sort du condensateur K, est

analysée par la méthode dite photométrique. Elle traverse un biréfringent B et un nicol analyseur N_2. La section principale du biréfringent est parallèle à celle du nicol polariseur N_1. On observe avec un viseur V les deux images fournies par ce système. Par une rotation convenable du nicol N_2, on peut amener ces deux images à avoir même intensité. Cette rotation du nicol mesure la différence de phase moyenne due au phénomène de Kerr pendant la durée du passage du flux lumineux dans le condensateur.

On ne pourrait employer une source de lumière continue (soleil, arc électrique, etc.). L'étincelle présente l'avantage de ne se produire qu'au moment de la décharge et d'avoir une durée comparable à celle de la disparition de la biréfringence. L'expérience fournit donc, en même temps que le résultat cherché, l'évaluation de l'ordre de grandeur de la durée de l'étincelle.

On envoie la lumière de l'étincelle dans le condensateur par le dispositif suivant :

La lentille convergente L_1 rend le faisceau lumineux cylindrique pour lui faire traverser l'intervalle des lames du condensateur (miroir M_1 enlevé). D'autre part, en mettant en place le miroir M_1, le système des deux lentilles convergentes L_2, L_3 et des quatre miroirs plans M_2, M_3, M_4, M_1 ramènera au condensateur la lumière de l'étincelle.

Ce dispositif permettra de mesurer l'intensité du phénomène de Kerr à des époques différentes :

En déplaçant l'ensemble des deux miroirs M_2, M_3, on pourra faire varier la longueur du chemin $EM_2M_3M_4M_1$ que parcourt la lumière de l'étincelle avant d'arriver au condensateur K.

La première mesure, faite en enlevant le miroir M_1, donne la valeur du phénomène à l'instant même où éclate l'étincelle E, ou, du moins, au bout du temps qu'il faut à la lumière pour parcourir le chemin EK, qui est de 20 centimètres.

Dans les mesures suivantes, M_1 étant en place, on peut faire croître à volonté le temps qui s'écoule entre la production de l'étincelle et l'instant où la lumière traverse K ; il n'y a qu'à reculer progressivement les miroirs M_2, M_3. De cette manière on arrive, en quelque sorte, à construire la courbe du phénomène en fonction du temps, un retard de 1 mètre correspondant à un trois cent millionième de seconde.

Voici les résultats d'une expérience :

Chemin parcouru.	Rotation du nicol.
20^{cm}	17°,3
100	8 ,7
400 et au delà	non mesurable

Ces mesures établissent le résultat annoncé. Entre la première expérience et la seconde, la lumière, parcourt $0^m,80$ en un temps égal à environ $\frac{1}{400.000.000}$ de seconde, et le phénomène diminue de moitié

Après $\frac{1}{100.000.000}$ de seconde, il n'y a plus de phénomène appréciable.

Les auteurs présentent aussi à la Société un dispositif qui permet de montrer la biréfringence des conducteurs. Ils opèrent sur de l'eau qui remplit la cuve du condensateur de Kerr. Le condensateur est placé entre deux nicols à l'extinction. Une étincelle est toujours la source de lumière utilisée.

Le mode de charge du condensateur est différent. Les pôles du transformateur chargent deux condensateurs en cascade. Les armatures extérieures de ces condensateurs sont réunies par une résistance dont le condensateur K fait partie. Pendant la charge l'eau joue le rôle de conducteur. Au moment où part l'étincelle, les charges brusquement libérées sur les condensateurs auxiliaires viennent charger le condensateur K et, pendant ce phénomène brusque, l'eau joue le rôle d'un isolant. Le condensateur de Kerr garde sa charge pendant un temps très court, et on observe une brillante réapparition de lumière.

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1899.

Présidence de M. le général Bassot.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Deslis, imprimeur, à Tours.
Jouclas (Louis), à Paris.
Laporte, chef des travaux au Laboratoire central d'électricité, à Paris.
De Nicolaieve (Wladimir), colonel d'artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Patte (Lucien), professeur au collège de Châteaudun.
Ropiquet, pharmacien, à Corbie.
Sauvage (E.), employé des Postes et des Télégraphes, à Haïphong (Tonkin).
Weil (Albert), docteur en médecine à Paris.

Travaux de M. Turpain sur les ondes hertziennes. — M. J. Blondin fait connaître les principaux résultats des recherches expérimentales de M. Albert Turpain sur les oscillations électriques. Celles-ci ont porté tout d'abord sur le champ ordinaire de Hertz à deux fils. On déplace dans le champ un résonateur dont le plan est successivement maintenu, perpendiculaire à la direction des fils (position I), en coïncidence avec le plan des fils (position II), en coïncidence avec le plan de symétrie des fils (position III). On trouve que : les longueurs d'onde relatives aux trois positions sont égales.

Les ventres de la position I coïncident avec les nœuds des positions II et III (qui coïncident entre eux) et inversement.

Les champs concentrés par un fil unique et le champ ordinaire de Hertz à deux fils donnent le même système de ventres et de nœuds.

Si l'on concentre le champ par deux fils issus de plaques terminales voisines du même plateau de l'excitateur, le champ ainsi constitué ne donne plus aucun système de ventres et de nœuds : c'est le *champ interférent* à deux fils.

Un champ interférent peut être transformé en champ ordinaire. Les champs interférents peuvent être utilisés dans le domaine des applications pratiques, en particulier en télégraphie.

M. Turpain étudie ensuite le fonctionnement du résonateur. Il énonce les principales lois auxquelles conduit l'étude du résonateur complet. Il indique qu'un résonateur qui présente, indépendamment du micromètre, une coupure, résone avec une grande facilité. Les lois auxquelles l'étude du *résonateur à coupure* conduit peuvent se résumer dans l'énoncé suivant :

Dans un résonateur à coupure, la coupure joue le rôle que joue le micromètre dans le résonateur complet.

La propagation des oscillations dans les diélectriques constitue la dernière partie des recherches de M. Turpain. Il trouve que les longueurs d'onde des oscillations qui excitent un résonateur dans la position II sont les mêmes dans l'air et dans un diélectrique autre que l'air. Pour les oscillations qui excitent le résonateur dans la position I, le rapport de la longueur d'onde dans l'air à la longueur d'onde dans un diélectrique est égal à la racine carrée du pouvoir inducteur spécifique du diélectrique par rapport à l'air.

Le dispositif employé par M. Turpain lui permet une interprétation théorique plus complète que celle à laquelle conduisent les expériences sur les diélectriques qui ont précédé les siennes. En permettant de fixer l'hypothèse à admettre concernant la période du résonateur, elles apportent une confirmation de la théorie de Helmholtz-Duhem.

M. Abraham rappelle que, dans des expériences récentes, M. Gutton s'est occupé de déterminer de quelle façon les vibrations hertziennes se transmettent de l'extrémité d'un fil à un conducteur voisin ; la théorie qu'il a donnée des phénomènes repose uniquement sur la considération des lignes de force ; elle est vérifiée par l'étude directe du champ électrique, au voisinage des discontinuités et des arêtes des conducteurs. Il est probable qu'une étude entreprise dans le même esprit donnerait l'explication des faits observés par M. Turpain, qui sont, en définitive, des actions des fils de concentration sur un résonateur amené dans leur voisinage.

Sur une nouvelle manière d'envisager la propagation des ondes lumineuses à travers la matière. — Théorie nouvelle des phénomènes optiques d'entraînement de l'éther. — M. Sagnac expose comment on peut expliquer la

propagation de la lumière à travers la matière en admettant que les vibrations lumineuses y sont transmises par le même milieu éther que dans le vide, sans que les propriétés de ce milieu soient altérées d'aucune manière par la présence des *particules matérielles;* le rôle de celles-ci est de renvoyer les vibrations en tous sens à la manière de petits corps parfaitement conducteurs, dont chacun réfléchirait et diffracterait en tous sens des vibrations électriques de longueur d'onde suffisamment grandes. L'auteur montre que, sans entrer dans aucune considération électro-magnétique ni dynamique, on arrive à expliquer d'une manière *purement cinématique* les lois géométriques de la réflexion et de la réfraction, l'existence d'une couche optique de passage indépendante de l'hétérogénéité superficielle du milieu, l'existence d'un indice de réfraction supérieur à l'unité. Il montre ensuite d'une manière détaillée comment les phénomènes optiques d'*entraînement de l'éther par la matière* s'expliquent directement et simplement dans sa manière de voir, bien qu'il n'admette ni un éther plus dense que l'éther du vide, ni aucune réaction mécanique entre l'éther et la matière. Sa théorie cinématique de l'entraînement de l'éther ne rencontre aucune difficulté ni aucune cause de complication dans l'existence de la dispersion, ni dans celle de la double réfraction. Il annonce qu'après avoir soumis sa manière de voir à l'épreuve précédente il a pu l'étendre à l'explication de la dispersion anomale, l'appliquer enfin à la découverte de phénomènes optiques nouveaux. Il présente ses vues théoriques comme un instrument de recherches expérimentales.

SÉANCE DU 1er DÉCEMBRE 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 Movembre est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. MANVILLE (Octave), Répétiteur au Lycée du Mans.

Sont nommés membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'exercice 1898-1899 :

MM. GIRARDET, A. POINCARÉ et POLLARD.

Appareils servant à la mesure des chaleurs de vaporisation. — M. LOUGUININE décrit les deux appareils dont il s'est servi pour déterminer la chaleur de

vaporisation de liquides bouillant à des températures voisines de 200°.

L'un des appareils permet d'évaluer la chaleur spécifique moyenne des liquides, entre la température ordinaire et la température d'ébullition; le chariot qui roule sur deux rails porte une chaudière, un condenseur et une étuve, dans laquelle l'ampoule de platine qui contient le liquide est supportée par une pince. Au moment où, après avoir amené l'étuve au-dessus du calorimètre, on agit sur la pince pour laisser tomber l'ampoule, un opercule qui fermait l'appareil à sa partie inférieure s'ouvre automatiquement. L'ampoule tombe à l'intérieur d'une corbeille métallique, qui la maintient dans une position centrale à l'intérieur du calorimètre. Le thermomètre calorimétrique est incliné pour laisser libre la place de l'étuve; on a vérifié que le réchauffement du calorimètre, pendant le temps très court où l'étuve reste dans son voisinage, est insensible.

Le deuxième appareil est destiné à la mesure des chaleurs totales de vaporisation; il est entièrement construit en platine. Une première chambre renferme la partie supérieure d'un tube, qui la met en relation avec la chambre de condensation; on laisse la vapeur pénétrer dans ce tube quand la température de la chambre supérieure est devenue constante. M. Louguinine a pu, en opérant sur 80 ou 100 grammes de liquide, obtenir une précision de $\frac{1}{500}$.

Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductivité électrolytique ? par M. Bouty. — Quand on veut étudier les propriétés électriques des gaz raréfiés, on fait le plus souvent usage d'ampoules contenant deux électrodes, que l'on met en relation avec une source continue ou alternative. Les apparences obtenues ne sont pas homogènes (au voisinage des électrodes); mais M. J.-J. Thomson, notamment, a obtenu des apparences homogènes en excitant, par induction, des ampoules sans électrodes. D'expériences fondées sur les propriétés des écrans électriques, il a cru être en droit de conclure que les gaz raréfiés à des pressions inférieures à un couple de millimètres de mercure possèdent une conductivité électrolytique qui, si on la rapporte au volume, est de l'ordre de celle de l'eau acidulée par l'acide sulfurique et, si on la rapporte à la masse, de l'ordre de celle des métaux.

M. E. Wiedemann, étudiant les produits de la décomposition de divers gaz composés, traversés par une série de décharges, conclut, au contraire, que ces produits sont dus, peut-être exclusivement, à des actions purement thermiques; que la loi de Faraday ne s'applique aucunement aux gaz raréfiés, et que ceux-ci ne peuvent être considérés comme des électrolytes.

M. Bouty arrive à la même conclusion par l'étude des propriétés des ampoules à gaz raréfié placées dans un champ électrostatique constant.

Si, entre les plateaux d'un condensateur, on interpose un corps conducteur, la capacité du condensateur éprouve un accroissement qui peut être

considérable. Un ballon de verre, soigneusement paraffiné à l'intérieur et à l'extérieur, et plein d'air à la pression atmosphérique, n'agira que par la masse de ses parois diélectriques et produira un accroissement de capacité très médiocre, soit 2 0/0 ; tandis que le même ballon, plein de mercure, produirait un accroissement de 50 0/0, par exemple. On peut substituer au mercure un électrolyte, de l'eau distillée, même de l'alcool absolu, du pétrole rectifié ; la très faible conductivité de ces derniers corps suffit pour que dans cette expérience ils se comportent comme du mercure. On pourrait encore constater aisément la conductivité de diélectriques une centaine de fois moins conducteurs.

Or les tubes de Crookes, soigneusement paraffinés à l'extérieur, se comportent comme des ballons pleins d'air de même volume ; ils n'accroissent la capacité du condensateur que par l'effet très minime du verre de leur paroi et cela, même quand on emploie un champ de 1000 volts par centimètre. Les tubes de Geissler se comportent de même, tant que le champ n'atteint pas, par exemple, 300 volts par centimètre. A aucune pression il n'est possible d'attribuer au gaz raréfié une conductivité non seulement de l'ordre de celle de l'eau acidulée, mais même d'un ordre cent fois plus faible que celle des plus parfaits diélectriques liquides.

Cependant, pour chaque pression du gaz, il y a une limite du champ électrostatique, telle que, pour des champs supérieurs, le gaz se comporte comme un conducteur, en cela que l'on observe des accroissements de capacité identiques à ceux que donnerait un ballon plein de mercure. Si l'on observe le tube à gaz raréfié dans une obscurité absolue, on reconnaît que, quand il paraît conduire, il s'illumine *aussi bien à l'instant de la charge qu'à l'instant de la décharge du condensateur*. L'apparence de conductivité est donc liée à la luminescence.

M. Bouty compare les phénomènes qu'il observe à ceux que présente un fil élastique sous l'action d'un poids. Tant que le poids n'atteint pas une certaine valeur critique, on ne saurait constater qu'un allongement très minime ; subitement le fil se rompt, dès que la charge dépasse cette limite.

L'éther, c'est-à-dire le vide absolu, possède une *élasticité diélectrique* indéfinie. Nous ne pouvons vaincre sa *cohésion diélectrique* et le faire traverser par des décharges. Au contraire, un gaz raréfié possède une limite d'élasticité diélectrique qui est fonction de sa pression, et on peut déterminer l'intensité du champ électrostatique correspondante.

En résumé on peut envisager les propriétés d'un gaz raréfié sous trois aspects, qui se complètent réciproquement :

1° Etude de ses propriétés diélectriques pour des champs suffisamment faibles (mesure de la constante diélectrique) ;

2° Etude des effets internes ou externes développés par les décharges qui traversent le gaz (expériences de J.-J. Thomson, de E. Wiedemann) ;

3° Etude des conditions limites de la cohésion diélectrique, suivant la nature, la pression du gaz, etc.

C'est ce dernier travail que M. Bouty poursuit en ce moment. Il rendra compte ultérieurement, à la Société, des résultats qu'il a déjà obtenus.

Sur l'interrupteur Wehnelt, par M. Rothé. — L'interrupteur Wehnelt présente un phénomène curieux, lorsque, pour une force électromotrice constante, on fait varier la résistance du circuit : pour une grande résistance, l'intensité est faible, mais le courant est continu et constant. Si on diminue la résistance, l'intensité croît, passe par un maximum, puis subitement tombe à une très faible valeur, $2^{amp},5$ environ. Il existe donc une valeur limite de la résistance pour laquelle subitement le régime change.

Ce nouveau régime à faible intensité est un régime variable; mais ce qui est surtout remarquable, c'est que, une fois ce régime atteint, on peut augmenter ou diminuer considérablement la résistance sans qu'il soit modifié. Il est particulièrement stable.

On peut donc dire qu'il existe pour chaque interrupteur et pour une force électromotrice donnée, une résistance limite telle que, pour toute résistance inférieure, le régime variable est seul possible; pour toutes les résistances supérieures, on peut avoir soit le régime variable, soit le régime continu, et cela suivant la façon dont on a établi le courant.

Il n'est donc pas indifférent de fermer le circuit directement sur une grande résistance, ou de le fermer sur une résistance très faible que l'on augmente ensuite pendant que le courant circule.

Le régime variable ne diffère pas seulement du précédent par l'intensité, le dégagement des gaz n'est pas le même dans chacun de ces deux cas. Dans le régime variable, les bulles ne se dégagent plus qu'une à une et d'une façon très régulière; les gaz qui s'en échappent sont d'ailleurs très chauds et fument à l'air.

La stabilité du régime variable s'explique par la présence autour du fil de platine d'une gaine de gaz protectrice. Cette stabilité est due uniquement à des effets calorifiques ; on détruit en effet ce régime en abaissant la température ; on le produit en chauffant au préalable le fil de platine.

L'appareil ne peut, dans ces conditions, fonctionner comme interrupteur; grâce à la stabilité du régime, on peut, sans le modifier, introduire dans le circuit, pendant que le courant circule, une self-induction, par exemple le primaire d'une bobine d'induction sans trembleur. On ne constate aux bornes de l'induit aucune étincelle appréciable.

Si on veut que la bobine fonctionne, il faut la placer dans le circuit avant de fermer le courant.

Dans ces conditions, on sait que l'intensité dans le primaire peut atteindre une très grande valeur. C'est ce troisième régime variable à grande intensité qui est le plus remarquable par ses propriétés nombreuses.

En particulier, l'interrupteur a, dans ces conditions, une influence sur l'éclairage des lampes du secteur. Pendant que l'interrupteur fonctionne avec le secteur comme source, l'éclat des lampes est éblouissant.

La mesure de l'intensité montre que l'intensité moyenne du courant est plus faible pendant le maximum d'éclat que sous le régime normal; mais l'intensité efficace est presque doublée.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1899.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès verbal de la séance du 1er décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DELATTRE (Félix), Ingénieur de la Maison Delattre et Cie, à Roubaix.
LECARME (Jean et Louis), à Paris.

Expériences de télégraphie sans fil exécutées entre Chamonix et le sommet du mont Blanc; par MM. LÉON et LOUIS LECARME. — Le but de ces expériences était d'établir, entre le sommet du mont Blanc et Chamonix, un système de communications rapides. Jusqu'ici en effet on ne peut correspondre entre ces deux points que par des caravanes; ce procédé, long et coûteux, devient impossible par le mauvais temps, et c'est précisément dans ce cas que des relations rapides avec la vallée deviennent le plus nécessaires. Avant d'installer des postes de télégraphie sans fil (ce qui est jusqu'ici le seul système possible dans ces régions), il était indispensable de faire des expériences préliminaires : ce sont ces expériences qui ont été entreprises, cet été, pendant le mois d'août. Les difficultés étaient nombreuses et, au point de vue de la propagation des ondulations hertziennes, elles se réduisaient aux suivantes :

1° La différence d'altitude de 3 450 mètres entre les deux postes et, par suite, une différence de potentiel considérable entre les deux mâts ;

2° L'influence d'une couche de nuages de plus de 200 mètres d'épaisseur en cas de mauvais temps, ces nuages étant le plus souvent à l'état de condensation sous forme de neige très dense ;

3° Les phénomènes électriques intenses qui se produisent fréquemment dans les hautes régions atmosphériques et qui auraient pu empêcher toute communication ;

4° Les deux fils de terre correspondant aux deux postes, ayant pour but de mettre les parties correspondantes des appareils en communication par la terre qui est au potentiel 0, ne pouvaient plus être considérés comme tels dans les conditions de l'expérience : en effet, l'énorme couche

de glace recouverte de neige, sans aucune trace d'eau à l'état liquide, qui recouvre le mont Blanc à partir des Grands-Mulets (3 000 mètres), étant d'une grande résistance électrique, pouvait être la cause d'une différence de potentiel entre le sol du mont Blanc et celui de Chamonix et, par suite, empêcher les communications, puisqu'alors les deux fils de terre ne seraient plus au potentiel 0.

A ces difficultés il faut ajouter celles de l'ascension, du climat et du séjour rendu pénible par le mal de montagne; ces difficultés ont été fort diminuées, grâce à M. Vallot, qui a bien voulu recevoir MM. Lecarme dans son observatoire et mettre à leur disposition des guides, des appareils et tout le confortable qu'il est possible de désirer à une altitude de 4 350 mètres.

Le poste transmetteur était à Chamonix et se composait essentiellement d'une bobine de 18 centimètres d'étincelle; l'oscillateur était celui de Hertz, l'écart des boules étant de 2 centimètres pour la production des phénomènes les plus intenses; un manipulateur envoyait à volonté le courant d'une dynamo de 30 volts dans le primaire de la bobine et une antenne de 25 mètres de longueur concentrait les ondes.

Le poste récepteur, placé à l'observatoire Vallot, à 4 350 mètres, était distant du précédent de 12 kilomètres à vol d'oiseau. Son organe principal était un radioconducteur à limaille d'or, de M. Branly.

Les expériences ont eu lieu pendant six jours et ont donné des résultats satisfaisants. Il faut signaler l'action intense des courants triphasés de l'éclairage électrique de Chamonix qui empêchent toute communication. Sans vouloir expliquer le phénomène, qui semble dû à une simple induction de la ligne de canalisation électrique sur l'antenne, MM. Lecarme comptent l'utiliser comme système de transmission pour de nouveaux essais.

Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs. — M. H. Becquerel a étudié, par la fluorescence et la photographie, l'action qu'exerce un champ magnétique sur les radiations émises par une petite quantité de chlorure de baryum radio-actif mise à sa disposition par M. et Mme Curie.

En plaçant d'abord la matière au voisinage d'une des pièces polaires (disque de fer de 14 millimètres) et un écran fluorescent ou une plaque photographique sur l'autre pièce polaire, on constate que l'action est beaucoup plus intense, suivant l'axe de l'appareil, quand le champ est excité.

Pour étudier la propagation normalement à la force magnétique, M. Becquerel place d'abord la substance au centre du champ, en la supportant par une plaque photographique. La plaque est impressionnée sur une bande allant d'un pôle à l'autre et située à droite de la substance, pour un observateur placé debout et regardant le pôle négatif. Il y a, sur cette bande, un maximum très marqué, à la hauteur de la substance active. On observe, en outre, une impression sur la plaque au point où était le corps actif.

La formation de la bande est due à des rayons qui, comme l'ont établi MM. Stefen Meyer et Egon R. von Schweidler, s'étant d'abord éloignés de la lame, viennent la rencontrer ensuite. On n'a pas la bande symétrique, parce que les rayons qui pourraient la produire sont absorbés par le verre de la plaque, qu'ils traversent deux fois.

Un point rayonnant placé au centre d'un champ magnétique donnerait un maximum d'action sur une surface de révolution renflée équatorialement; les effets très variés qu'on observe sur un écran fluorescent que l'on déplace s'expliquent aisément.

Si l'on amène la matière active au voisinage d'un des pôles, on constate la production de la même bande avec un nouveau maximum sur le pôle opposé. L'enroulement des rayons est manifesté par le fait qu'un corps opaque ne les arrête que s'il est placé dans une position excentrique convenablement choisie.

Tous ces faits démontrent que le rayonnement du radium se rapproche considérablement des rayons cathodiques; certaines expériences donnent presque la reproduction de celles qu'a faites sur ces rayons M. Broca.

M. Curie dit que c'est un grand plaisir que de voir l'usage que fait M. Becquerel de 2 ou 3 milligrammes de substance fortement radioactive. En effet, avec une quantité de matière aussi minime, M. Becquerel a su réaliser un grand nombre d'expériences importantes.

L'action du champ magnétique sur les radiations du radium rapproche ces radiations des rayons cathodiques, tandis que les autres propriétés des rayons du radium présentent une grande analogie avec celles des rayons de Röntgen. On admet généralement aujourd'hui que les rayons cathodiques sont constitués par un flux de matière pondérable, et que les rayons de Röntgen représentent la propagation d'un ébranlement. Il est donc surprenant de voir les rayons du radium jouir à la fois des propriétés de ces deux sortes de rayons.

M. Becquerel ajoute que l'étude de la fluorescence tend, au contraire, à rapprocher les radiations du radium des rayons ultra-violets. Le radium, comme l'arc ou l'étincelle, rend à la fluorine la phosphorescence qu'elle a perdue par la chaleur ; la composition de la lumière émise est exactement la même dans les deux cas.

M. Wyrouboff fait remarquer que la phosphorescence de la fluorine paraît être un phénomène complexe. Il a montré jadis (*Bull. Soc. Ch.*, t. VI, p. 334; 1866) que les substances colorantes des fluorines étaient des hydrocarbures et que les échantillons blancs, qui ne perdaient rien à la calcination, ne donnaient pas de phosphorescence lorsqu'on les chauffait. Il est donc clair que la phosphorescence, ou, plus exactement, certaine espèce de phosphorescence de la fluorine, est directement liée à la présence de la matière organique et disparaît après sa destruction. Ce phénomène

lumineux est ici le résultat d'une action chimique, dont il est difficile de préciser la nature, mais qui n'est certainement pas une combustion, car l'intensité du phénomène ne diminue pas lorsqu'on chauffe la fluorine dans un courant d'acide carbonique ou d'hydrogène.

M. Becquerel répond que toutes les expériences qu'il connait ne lui permettent pas d'admettre les idées émises par M. Wyrouboff.

Au sujet de la comparaison faite par M. Becquerel entre la coloration violette que prend la fluorine exposée aux rayons cathodiques et la coloration analogue prise par le verre dans les expériences de Mme Curie, M. Villard fait observer qu'il s'agit de deux phénomènes entièrement distincts. La modification subie par le fluorure de calcium et quelques autres composés halogènes a été signalée par Goldstein. M. Villard admet, avec divers auteurs, qu'il se forme alors un sous-sel ; il y a réduction, comme pour le cristal ou le verre cuivrique. La teinte violette du verre est, au contraire, due aux rayons X ; on l'obtient en soumettant à ceux-ci du verre ou du cristal, pourvu, dans le cas de ce dernier, qu'on soit à l'abri des rayons cathodiques. Cette teinte s'obtient également dans une flamme très oxydante : elle provient de l'oxydation du manganèse.

M. H. Le Chatelier fait remarquer, à l'occasion des observations de M. Villard, au sujet de la coloration violette que prend le verre, d'après les expériences de Mme Curie, sous l'action des radiations du radium, qu'il n'est pas besoin d'admettre l'intervention d'une action oxydante extérieure. Les sels manganeux et manganiques, ferreux et ferriques, donnent lieu, dans le verre, à un phénomène d'équilibre qui tend à se déplacer avec la température ; aux températures élevées le sel manganeux prédomine; mais, au refroidissement, il tend à se transformer en sel manganique violet aux dépens du sel ferrique. L'état solide du verre s'oppose à l'accomplissement de cette réaction ou, au moins, la retarde énormément. Les radiations solaires la rendent possible, quoique encore très lente ; celles du radium l'accélèrent beaucoup. Leur rôle est donc analogue, dans ce cas, à celui des actions de présence, à celui des radiations photochimiques, qui facilitent des réactions tendant à se produire d'elles-mêmes.

M. Villard admet volontiers l'interprétation très fondée donnée par M. Le Chatelier, car elle explique bien l'oxydation du manganèse sans faire intervenir de supposition nouvelle sur la provenance de l'oxygène ; elle s'accorde bien avec l'hypothèse que les rayons X sont une radiation. Le phénomène ainsi précisé reste franchement distinct de ceux qui se produisent sous l'action des rayons cathodiques.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1899.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1899. Publié par M. Firmin Leclerc; 1 vol. in-18.

American Journal of Science. — 4e série, 2 vol. VII et VIII, 1899; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Thomas Craig with the co-operation of Simon Newcomb. — Published under the Auspices of the Johns Hopkins University.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band LXVIII à LXIX, 1899; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. XVI, XVIII et XIX, 1899; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. IX, année 1899; 1 vol. in-4°.

Annales de l'Observatoire national d'Athènes, publiées par Démétrius Eginitès. — T. I. Athènes, Imp. Nationale, 1898, 1 vol. in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès. T. XIII, année 1897; 1 vol. in-4°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXIV, janvier à août 1898; in-8°.

Annuaire pour l'an 1899 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XXXVI, 1898; 1 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié; in-8°.

Astrophysical Journal, an International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics (Chicago). — Vol. IX et X, 1899; in-8°.

Annuaire météorologique pour l'année 1897, publié par l'Institut météorologique de Danemark, Ire partie : **le Royaume ; IIe** partie : **les Colonies** (1895). 2 fasc. in-4°.

Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the interior Nineteenth, 1896-1897. Part. I, III et IV, 1897-1898. Part. I, IV et VI. — 7 vol. in-4°.

Beiblatter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXII, 1899; 1 vol. in-8°.

Bulletin scientifique trimestriel, publié par l'Association amicale des Elèves et anciens Elèves de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, nos 2, 3, 4, 1899 ; in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XVI, année 1899 ; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie.— T. XXII, année 1899; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens. — Année 1899; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XII, 4e série, 1899; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomatique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, 1899; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXV, année 1899; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. X, année 1898-1899; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1899 ; 1 vol. in-8°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXIX et CXXX, 1899; 2 vol. in-4°.

Electrician (The). — Vol. XXXVIII et XXXIX, 1899; 2 vol. in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. X; année 1899; in-8°.

Eléments météorologiques des îles Féroé, de l'Islande et du Groenland (Appendix til det danske meteorologiska Instituts Aarbog. 1895, II. Del). **Kjobenhavn. Hof. Bogtrykkeri** (F. Dreyer, 1899) ; 1 fasc. in-4°.

Institut météorologique de Danemark. — Observations météorologiques nautiques. 1897 et 1898 ; 2 vol. in-4°.

Annuaire météorologique pour l'année 1893 (2e partie), 1894 (2e partie); 1896 (1re et 3e parties) ; in-4°.

Énergie électrique (L'). — Journal universel d'Électricité, 5e année, année 1899.

Fortschritte der Physik im Jahre 1898. — Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn, 1899, 1 vol. in-4°.

Guide-Annuaire général des industries, gaz, eaux, électricité. — 3e année. Paris, Dubuisson, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal de physique, théorique et appliquée, fondé par J.-Ch. d'Almeida, et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier. 3e série, 28e année, t. VIII, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet. 12e année. 1899; 1 vol. in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CXLVII et CXLVIII, 1899; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXXI, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXVIII, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. III, année 1899; in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, edited by Honorary Secretaries. — Vol. XXXII, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. — Année 1899. In-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. III, 1898. Besançon, Dodivers et Cie; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. LXIII, année 1898-1899; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 51e année, année 1899; 1 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico). — T. XII, 1898-1899; 1 vol. in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XVIII, 1899; 1 vol. in-8°.

Mois scientifique et industriel (Le). — Revue internationale d'informations, novembre et décembre 1899; 2 fasc. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXVI, année 1899; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — 1 vol. in-4°. Année 1899.

Nuovo Cimento (Il). — 4e série, vol. 9 et année 1899; 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Fifth series, vol. 47 et 48, 1899; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. VII et IX, 1899; 1 vol. in-8°.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. — Vol. X, Part. I, 1898-1899, 1 vol. in-8°.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XVI, 1899; 1 vol. in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. — Vol. XXXIV et XXIV, 1899; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XXXVIII, n° 159, 1899.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LXV, n°s 413 à 418; in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburg. — Vol. XXI, sessions 1895-1896; 1896-1897; in-8°.

Report of the Australasian Association for the advancement of science. — Vol. VII. Sydney Meeting, 1898; 1 vol. in-8°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier. 10e année, 1899; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (la). — Année 1899; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles. 1 vol. in-8°.

Revue de Physique et de Chimie et de leurs Applications industrielles. — Publiée sous la direction scientifique de M. Schützenberger, année 1899; 1 vol. in-8°.

Royal Institution of Great Britain, Weekly evening meeting. Friday, February, 4, 1898, and Friday, May 13, 1898; in-8°.

Rozprawy Akademii Umiejetnosci. — Wazial Matematyczno-Przyrodniczy. — Serya II, t. XIII, 1898, et XIX, 1899, Cracovie.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. — Vol. VIII (N. S.), novembre 1898. Part. 6; 1 vol. in-8°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society. — Vol. VI, Part. 14, 15, 16, et vol. VII, Part. 1 (1898); in-4°.

Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. — Procès-verbaux des séances. Année 1899; in-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. XII, 1899; in-8°.

Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalts in der Zeit vom 1 Februar 1898 *bis* 31 Januar 1899. (Extr. *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, Iuli 1899); 1 fasc. in-4°.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh. — Transactions of the Royal Society of Edinburg.

United States Coast and Geodetic Survey. *U. S. A.;* Bulletins n°s 39-40; 4 fasc. in-4°.

Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin. — Jahrg. 1899; 1 vol. in-8°.

Science abstracts, physics and electrical engineering. Vol. 2, année. 1899. — London, Taylor and Francis; in-8°.

Yerkes Observatory of the University of Chicago. Bulletins n°s 8, 9, 10 et 11, 1899; 4 fasc. in-8°.

Bagard (H.). — Sur les variations de résistance d'un conducteur électrolytique dans un champ magnétique. (Extr. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 9 janvier 1899.) In-4°.

Barbillion (L.). — Dispersion électrique. (Thèse.) Paris, G. Carré et C. Naud, 1899; in-8°.

Bast (Omer de). — Recherche élémentaire des relations entre les grandeurs électriques dans les circuits parcourus par des courants alternatifs. (Extr. d'un *Cours d'Electricité industrielle de Liège.*) Liège, Léon de Thier, 1899; 1 fasc. in-8°.

Beaulard (F.). — La décharge électrique dans les gaz raréfiés. Paris, Gauthier-Villars, 1899, 1 vol. in-8°.

Béghin (A.). — Formulaire de manipulations de chimie générale et de chimie industrielle, suivi d'un précis d'analyse qualitative et quantitative. Paris, Ve Ch. Dunod, 1895; 1 vol. in-8°.

— Règle à calcul (modèle spécial) permettant de résoudre, par un seul mouvement de la réglette, avec une approximation deux fois plus grande que pour les autres règles, les opérations effectuées par celles-ci et en plus principalement le produit de trois facteurs et le quotient d'un nombre par le produit de deux autres, suivi de 62 problèmes pratiques industriels. Paris, Baudry, 1899; 1 vol. in-8°.

Blaserna (Pietro). — Sulle variazoni secolari dell'inclinazione magnetica nei tempi antichi. (Extr. *Onoranze a Volta nel 1° Centenario della pila. Commemorazione di Alessandro Volta e 1° Congresso nazionale di elettricisti.* Como, 18-23 settembre 1899; 1 fasc. in-4°.)

Blondel (A). — Sur une nouvelle lampe étalon reproduisant l'unité Hefner. (Extr. des *C. R. de l'Association française pour l'avancement des sciences, Congrès de Nantes,* 1898.) 1 fasc. in-8°.

— Des antennes dans la télégraphie sans fil. Remarques et expériences sur les cohéreurs. (Extr. des *C. R. de l'Association française pour l'avancement des sciences, Congrès de Nantes*, 1898.) 1 fasc. in-8°.

— Sur les oscillographes. (Extr. des *C. R. de l'Association pour l'avancement des sciences, Congrès de Nantes*, 1898.) 1 fasc. in-8°.

— Quelques dispositifs nouveaux pour la mesure de la puissance des courants polyphasés. (Extr. de *l'Industrie électrique*, 1898.) 1 fasc. in-8°.

— L'hystérésimètre Blondel-Carpentier et son application à la mesure mesure statique de l'hystérésis. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences* 5 décembre 1898.) 1 fasc. in-4°.

— Sur l'arc à courant alternatif. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 12 décembre 1898.) 1 fasc. in-4°.

— Sur l'interrupteur électrolytique Wehnelt. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 4 avril 1899.) 1 fasc. in-4°.

— Sur les arcs à courants alternatifs dissymétriques entre métaux et charbons. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 20 mars 1899.) 1 fasc. in-4°.

— De l'utilité publique des transmissions électriques d'énergie. But. Procédés. Etat actuel. Valeur économique et avenir. (Extr. des *Ann. des Ponts et Chaussées*, 1er trimestre 1898, revu et complété en juin 1899.) Paris, Ve Ch. Dunod, 1899, 1 vol. in-8°.

Boccara (**V.**) et **Gandolfi** (**A.**). — Sulla velocità delle onde Hertziane nei mezzi dielettro-magnetici (Verifica sperimentale della relazione $V_1 V \sqrt{\epsilon} \sqrt{\mu} = 1$). (Extr. *Nuovo Cimento*, série IV, vol. VIII, septembre 1898.) In-8°.

Bornstein (**R.**). — Foenstudien gelegentlich des Gewitters vom 22 juin 1898. (Extr. *Meteorologische Zeitschrift*, Januar 1899.) 1 fasc. in-4°.

— Eine Beziehung zwischen Luftdruckverteilung und Monddeklination. (Extr. *Phys. Zeitschrift*, 1899.) 1 fasc. in-4°.

— Ueber Foën und Gewitter. 1 fasc. in-8°.

Boulanger (**J.**) et **Ferrié** (**G.**). — Les ondes électriques et la télégraphie sans fil. Paris, Berger-Levrault et Cie, 1899 ; 1 vol. in-8°.

Broca (**André**). — La télégraphie sans fils. Paris, Gauthier-Villars, 1899. 1 vol. in-8° jésus.

Canat de Chizy (**R.**). — Note sur quelques expériences de physique nécessitées par l'étude de la harpe chromatique sans pédales. (Système G. Lyon.) Paris, Pleyel, Wolff, Lyon et Cie. 1899. Br. in-8°.

Cauro (**J.**). — Mesures sur le microphone. (Thèse.) Paris, G. Carré et C. Naud, 1899. 1 fasc. in-4°.

Colson. — La photographie stéréoscopique. (Conférences de la Société française de Photographie.) Paris, Gauthier-Villars, 1889. Br. in-8°.

Commerford Martin (**Thomas**). — The utilization of Niagara. (Extr. *Smithsonian Report*, 1896.) Br. in-8°.

Dechevrens (**Marc S. J.**) — Les variations de la température de l'air dans les tourbillons atmosphériques et leur véritable cause. (Extr. de la *Revue des Questions scientifiques*, avril 1899.) Louvain, Polleunis et Centerick. 1899, 1 fasc. in-8°.

Demerliac (**R.**). — Recherches sur l'influence de la pression sur la température de fusion. (Thèse.) Caen, Lanier, 1898. In-8°.

Drouin (F.). — L'acétylène. Paris, Ch. Mendel, 1899. 2e édition, 1 vol. in-8°.

Duhem (P.). — Traité élémentaire de mécanique chimique, fondée sur la thermodynamique. Tome IV. Les mélanges doubles. Statique chimique générale des systèmes hétérogènes. Paris, A. Hermann, 1899, 1 vol. in-8°.

Fabry (Ch.) et **Pérot** (A.). — Théorie et application d'une nouvelle méthode de spectroscopie interférentielle. (Extr. *Annales de Chimie et de Physique*, janvier 1899.) Br. in-8°.

Foveau de Courmelles. — Les rayons X et la pathologie infantile. (Extr. des *Annales de médecine et de chirurgie infantiles.*) 2 fasc. in-8°, 1899.

— Bi-électrolyse et pyrogalvanie. (Méthodes nouvelles et outillage.) Réimprimé de la Clinique, Montréal (Can.), novembre 1898. In-8°.

— L'électricité atmosphérique et la climatologie. (Extr. *Gazette des Eaux.*) 1 fasc. in-4°.

— Recherches sur l'ozone atmosphérique. (Communication au Congrès de Québec, août 1898.) Réimprimé de la Clinique, Montréal (Can.). In-8°.

Guarini Foresio (Emile). — Transmission de l'énergie électrique par un fil et sans fil (par l'éther). Application du système aux communications téléphoniques et télégraphiques et aux signaux électriques en général pour obtenir la suppression du retour par la terre ou par un autre conducteur métallique ou la complète suppression des fils. (Liège, H. Poncelet, 1899). 1 fasc. in-8°.

— Télégraphie électrique sans fils (Répétiteurs). Liège, H. Poncelet, 1899, 1 fasc. in-8°.

Goldhammer (D.-A.). — Das Zeeman'sche Phänomen, die magnetische. Circularpolarisation und die magnetische Doppelbrechung. (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, Band. 67, 1898.) Br. in-8°.

Guillet (A.). — Détermination directe d'un Kilohm absolu (Thèse). Paris, G. Carré et Naud, 1899; 1 fasc. in-8°.

Gutton (H.). — Recherches expérimentales sur le passage des ondes électriques d'un conducteur à un autre (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 fasc. in-8°.

Hagenbach (Ed.). — Gustav Wiedemann Nachruf. (Extr. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, *XIV*. Jahrgang 1899, Nr. 24.) Braunschweig Fr. Vieweg und Sohn, 1899; 1 fasc. in-4°.

Hale (G.-H.). — Parallax of the Andromeda Nebula. (The Yerkes Observatory of the University of Chicago, bulletin n° 6.) In-4°.

Jarry (R.). — Recherches sur la dissociation de divers composés ammoniacaux au contact de l'eau (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 fasc. in-8°.

Klossovsky (**A.**). — Vie physique de notre planète devant les lumières de la science contemporaine. (Odessa, Soc. des éditions typographiques de la Russie méridionale, 1899.) 1 fasc. in-8°.

Koenigsberger (**Leo**). — The investigations of Hermann von Helmholtz on the fondamental principles of Mathematics and Mechanics. (Extr. *Smithsonian Report*, 1896.) Br. in-8°.

Korda (**Désiré**). — L'influence du magnétisme sur la conductibilité calorifique du fer. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 13 février 1899.) In-4°.

Korolkow (**A.**). — Les courants alternatifs et leur transformation. — Saint-Pétersbourg; 1897, 1 fasc. in-8°.

— Leçons d'électrotechnique. — Saint-Pétersbourg, 1899, 1 fasc. in-4°.

Lafay (**A.**). — Sur la polarisation de la lumière diffusée par un verre dépoli (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 fasc. in-4°.

Lefèvre (**Julien**). — La liquéfaction des gaz et ses applications (*Encyclopédie scientifique des Aides-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 vol. petit in-8°.

Lefebvre (**Pierre**). — Réflexion dans un système de miroirs sphériques (manuscrit).

— Points de Bravais (manuscrit).

Marage. — Les exercices acoustiques chez les sourds et muets. — Corbeil, Crété, 1899. Br. in-8°.

— La méthode graphique dans l'étude des voyelles. (Extr. *C. R.*, février 1898.) In-4°.

Maurain (**Ch.**). — Le magnétisme du fer. Paris, Georges Carré et C. Naud ; 1899, 1 fasc. in-8° (Scientia).

Méheux (**Félix**). — De la nature des rayons X. — Réflexions sur la cause de leurs effets pathologiques et photographiques. — Paris, Maloine, 1897. Br. in-8°.

Meslin et **Chandier.** — Sur la vitesse de propagation des ondes à la surface des liquides. (Extr. *Mémoires de l'Académie des Sciences et des Lettres de Montpellier*, 2e série, t. II, 1899.) 1 fasc. in-8°.

Moessard (**P.**). — L'objectif photographique, étude pratique, examen, essai, choix et mode d'emploi. Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 vol. in-8°.

Peckam (**George-W.**) **Packam** (**Élisabeth-G.**). — On the instincts and habits of the solitary Wasps. (Wisconsin geological and natural History Survey, Bull. n° 2, 1898.) Br. in-8°.

Pellat (**H.**). — Perte d'électricité par évaporation de l'eau électrisée. Application à l'Electricité atmosphérique. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, janvier 1899.) In-4°.

— Modification du raisonnement classique conduisant à la formule

de Neumann. (Extr. *Journal de Physique théorique et appliquée*, décembre 1898.) In-8°.

— De l'énergie d'un champ magnétique. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, octobre 1898.) In-4°.

— Sur la polarisation vraie des diélectriques placés dans un champ électrique. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 29 mai 1899.) 1 fasc. in-4°.

— Polarisation réelle des diélectriques. Conséquences de cette polarisation (Extr. des *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XVIII, 1899.) 1 fasc. in-8°.

Pérot (**A.**) et **Fabry** (**Ch.**). — Sur l'application des phénomènes d'interférence à la solution de divers problèmes de spectroscopie et de métrologie. (Extr. *Bulletin astronomique*, janvier 1899.) Br. in-8°.

— Sur un voltmètre électrostatique interférentiel pour étalon. (Extr. *Journal de Physique*, novembre 1898.) Br. in-8°.

— Méthodes interférentielles pour la mesure des grandes épaisseurs et la comparaison des longueurs d'onde. (Extr. *Ann. de Chimie et de Physique*, mars 1899.) Br. in-8°.

Pfaundler (**L.**). — Ueber den Begriff und die Bedigungen der Convergenz und Divergenz bei den Linsen. (Extr. *Akad. der Wissenschaften in Wien, mathem-naturw. Classe*, Bd. CVIII, Ath. 2a, mai 1899.) 1 fasc. in-8°.

Poincaré (**H.**). — *La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes.* — Paris, G. Carré et Naud, 1899 ; in-8°. (Collection *Scientia.*)

Rey Pailhade (**J. de**). — Projet d'établissement d'un système mètre-gramme-jour pour l'unification des mesures physiologiques. Toulouse, Lagarde et Sebille, 1899 ; 1 fasc. in-8°.

— Tables décimales à 9 chiffres pour la transformation des heures et des degrés en fractions décimales du Jour et du Cercle. (Extr. *Bull. de la Soc. de Géographie de Toulouse*, 1898.) Br. in-8°.

— Documents sur l'heure décimale de la Convention nationale. 1 fasc. in-8°.

— Rapport sommaire sur l'exposition des appareils de mesure du temps et des angles gradués suivant le système décimal. (Congrès des Sociétés savantes, tenu à Toulouse du 4 au 8 avril 1899.) Toulouse, Lagarde et Sebille, 1899 ; 1 fasc. in-8°.

Riban (**J.**). — Traité d'analyse chimique quantitative par électrolyse. — Paris, Masson et Cie, 1899 ; 1 vol. in-8°.

Roth (**Filibert**). — On the Forestry conditions of Northern Wisconsin. (*Wisconsin geological and natural History Survey*, Bull. n° 1, 1898.) In-8°.

Rohr (**Moritz von**). — Théorie und Geschichte des photographischen Objektivs, nach Quellen bearbeitet. Berlin, Julius Springer, 1899 ; 1 vol. in-8°.

Schiller. — Sur l'origine et l'évolution des notions de température et de chaleur (en russe). 1 fasc. in-8°.

— De la variation d'énergie dans la dilution (en russe). 1 fasc. in-8°.

Schiller (N.). — Die Bedeutung des osmotichen Druckes in der Thermodynamik der Lösungen. (Extr. *Ann. der Phys. und Chimie*, Band. 67, 1899.) In-8°.

Schicht (Franz). — Das aüssere elektrische Feld einer Entladungsrohre. (Extr. *Akad. der Wiss. in Wien*. Bd. CVIII, abth. 2a, Juli 1899.) 1 fasc. in-8°.

Thurston (R.-H.). — The animal as a prime mover. (Extr. *Smithsonian Report*, 1896.) Br. in-8°.

Turpain (A.). — Le nouveau domaine de l'électricité. Les expériences de Hertz et leurs applications pratiques. (Conférence de la Société des Sciences naturelles de la Rochelle, 18 juin 1898.) Br. in-8°.

— Sur la multicommunication en télégraphie au moyen des oscillations électriques. (Extr. *Séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 23 juin 1898.) Br. in-8°.

— Etude comparative du champ hertzien dans l'air et dans les diélectriques. (Extr. des *Séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 21 juillet 1898.) Br. in-8°.

— Sur le résonateur à coupure. (Extr. des *Séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 21 juillet 1898.) Br. in-8°.

— Sur la propagation des oscillations dans les milieux diélectriques. (Extr. *Eclairage électrique*, 7 oct. 1899. Paris, G. Carré et C. Naud, 1899.) 1 fasc. in-4°.

Tommasina (Thomas). — Sur un cohéreur très sensible obtenu par le contact simple de deux charbons et sur la constatation d'extra-courants induits dans le corps humain par les ondes électriques. (Extr. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. VII, janvier 1899.) 1 fasc. in-8°.

— Sur un curieux phénomène d'adhérence des limailles métalliques sous l'action du courant électrique. (Extr. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. VII, janvier 1899.) 1 fasc. in-8°.

— Sur la nature et la cause du phénomène des cohéreurs. (Extr. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. VIII, août 1899.) 1 fasc. in-8°.

Udden (Johan-August). — The mechanical Composition of Wind Deposits. (Augustana Library Publications, n° 1, Rocks Island, III, 1898.) In-4°.

Van der Mensbrugghe (G.). — L'air atmosphérique exerce-t-il une influence sur la hauteur d'un mince jet d'eau ? (Extr. *Acad. Royale de Belgique*, 1897.) In-8°.

— Sur les propriétés fondamentales des liquides. (Extr. *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles spéciales de Gand*, t. XXI, 3e livraison, 1898.) In-8°.

— Sur les nombreux effets de l'élasticité des liquides. 3e communication. (Extr. *Acad. Royale de Belgique*, 1898.) In-8°.

— Le principe d'Archimède et l'égalité de l'action et de sa réaction. (Extr. *Bulletin de la Société scientifique de Bruxelles*, 1898). In-8°.

— Quelques remarques sur une expérience curieuse de J. Plateau. (Extr. *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 1898.) In-8°.

— Notice sur ses travaux. (Extr. *Bibliographie académique*, édition 1896, Acad roy. de Belgique.) Br. in-12.

Vant' Hoff (**J.-H.**). — Leçons de chimie physique professées à l'Université de Berlin. Paris, A. Hermann, 1899 ; 1 vol. in-8°.

Waha (**De**). — Introduction à l'électricité industrielle. Conférences données à l'Association des Ingénieurs luxembourgeois. Luxembourg, Joseph Belfort, 1899 ; 1 fasc. in-8°.

Warburg (**E.**). — Referat über die Wärmeeinheit (Gemeinschaftliche Sitzung der Sectionen für Physik und angewandte Mathematik und Physik am 22 september 1899, auf der Naturforscherversammung zu München). Leipzig, Johann Ambrosius Barth. 1900 ; 1 fasc. in-8°.

Willard-Gibbs (**J.**). — Equilibre des systèmes chimiques, traduit par Henry Le Chatelier. Paris, Carré et C. Naud, 1899. 1 vol. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1900.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1900.)

BUREAU.

MM. CORNU, *Président.*
PELLAT, *Vice-Président.*
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général.*
ABRAHAM, *Secrétaire.*
SAGNAC, *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BRANLY. 1898.
CARVALLO.
SIEGLER.
VILLARD (P.).

BROCA (A.). 1899.
DESLANDRES.
JANET.
ROMILLY (P. DE).

LAURIOL. 1900.
TEISSERENC DE BORT.
POINCARÉ (H.).
WEISS (G.).

Membres non résidants :

MM. GAYON (Bordeaux). 1898.
HURMUZESCU (Jassy).
SENTIS (Grenoble).
SORET (Genève).

BERGONIÉ (Bordeaux). 1899.
FABRY (Marseille)
LECHER (Prague).
LUSSANA (Sienne).

BJERKNES (Stockholm). 1900.
BOUASSE (Toulouse).
COPPET (DE) (Genève).
WEISS (P.) (Lyon).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM. FIZEAU.
1874.	BERTIN.
1875.	JAMIN.
1876.	QUET.
1877.	BECQUEREL (Ed.).
1878.	BLAVIER.
1879.	BERTHELOT.
1880.	MASCART.
1881.	CORNU.
1882.	GERNEZ.
1883.	JANSSEN.
1884.	POTIER.
1885.	MAREY.
1886.	SEBERT.
1887.	WOLF.
1888.	ROMILLY (de).
1889.	MASCART.
1890.	MALLARD.
1891.	FRIEDEL.
1892.	VIOLLE.
1893.	LIPPMANN.
1894.	JOUBERT.
1895.	CAILLETET.
1896.	BOUTY.
1897.	BECQUEREL (H.).
1898.	BENOIT (R.).
1899.	BASSOT.

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général*, *Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **ANONYME** (pour aider à la publication des Mémoires). 5 000
STOKES (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).
KELVIN (Lord), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).
BELL (Alex. Graham), de Washington (États-Unis).
BERTHELOT (M.), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
JANSSEN (J.), Membre de l'Institut.
ROWLAND (H.-A.), Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).
CORNU (M.-A.), Membre de l'Institut.
MASCART (E.-E.-N.), Membre de l'Institut.

DONATEURS (2).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (Baron d'EICHTHAL)	2 000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1 000

---

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.
	Fizeau.	1873-96.
	Bertrand.	1890-1900.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Etranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous

MM. **GUEBHARD**, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque) 10 000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes) 5 000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs) 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils) 5 547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut 1 500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.
JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême ... 500
ROTHSCHILD (Baron Edmond de) 300
CANET 300
MARTIN (Ch.), de Chartres (Legs) 1 000
ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*) 11 000
ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*) 9 600
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*) 850,25
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*) 734,25
COPPET (de) (pour la publication des *Données numériques*) 1 000
ANONYME (pour aider à la publication du tome III des *Données numériques*) 6 000

MEMBRES A VIE (¹).

MM. * D'ABBADIE, Membre de l'Institut.
ABRAHAM (Henri), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 41, rue de Trévise.
* ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
* ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique.
AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans.
ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
ARNOUX (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

---

le titre de DONATEURS. Les membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(¹) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'Etat, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, art. 3, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Arsonval (d' Dr), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Baume Pluvinel (comte de la), 17, rue de Constantine.

Bandsept (Albert), Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

Bardy (Charles), Directeur honoraire du service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue Miromesnil.

Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville.

Benoît (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux.

Bordé (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Branly, Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

* Bréguet (Antoine), Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

MM. * BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis.

* BRISSE (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.

BROCA (Dr André), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

BRUNHES (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

* BUCHIN, Ingénieur électricien.

* CABANELLAS, Ingénieur électricien.

CADOT, Professeur au Lycée de Douai.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.

CANET, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARPENTIER, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CARVALLO, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Clovis.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

* CAURO (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

CHABAUD (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince.

CHANCEL (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.

CHAVES (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

* CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet.

CLÉMENT (Louis), 18, rue Louis-le-Grand.

COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

* CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

COPPET (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice.

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.

CULMANN (Paul), Docteur ès sciences, 145, boulevard Montparnasse.

CURIE (Pierre), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 42, rue Lhomond.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas.

DEFFORGES (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de la Tour-Maubourg.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

MM. Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 1, rue Schlumberger, à Mulhouse (Alsace).

Drouin (Félix), 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Fabut (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Durand, Préparateur à la Faculté des Sciences, 99, boulevard Arago.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

Engel, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil.

Faivre-Dupaigre, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

Favé, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, place de Jussieu.

Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun.

* Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Galimard, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de la Société d'électro-chimie, 42, rue de Clichy.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen.

* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.

Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.

Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux.

Gernez, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

MM. GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.
GRAMONT (Arnaud DE), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille, et au Vignal par Pau.
GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C° limited, à Londres (Angleterre).
GROSSETESTE (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff.
GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.
GUÉBHARD (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).
* HUGO (comte Léopold).
HUSSON (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).
INFREVILLE (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty Street, New-York (Etats-Unis).
* JAMIN, Membre de l'Institut.
JANET (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four.
JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 5, boulevard La-Tour-Maubourg.
JAVAUX (ÉMILE), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme*, 33, rue Clavel.
* JENNESSON, Ancien Principal.
JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.
JEUNET, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris, Puteaux (Seine).
JOBIN (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon.
* JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.
JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.
KERANGUÉ (Yves DE), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).
KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.
KŒCHLIN (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen.
KORDA (Désiré), Ingénieur Chef du service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.
KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille.
LACOUR, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.
LAURENT (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.
LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.
LAVIÉVILLE, Inspecteur de l'Académie de Paris, 14, rue Soufflot.
LE BEL, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.
LEBLANC, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

MM. Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille.

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boul. Faidherbe, à Douai.

Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 32 avenue du Maine.

* Lemonnier, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 43, rue de Lyon, et à Cuire (Rhône).

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur-Adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne.

Marie, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

* Martin (Ch.), de Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Massin, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard.

Masson (G.), Libraire-Éditeur.

Maurain, Maître des Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Rennes.

* Maurat, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Meslin (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Mestre, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MM. * Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.
Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.
Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.
* Moncel (Comte du), Membre de l'Institut.
Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.
Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres.
Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 101, rue de Boétie.
Nogué (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Ogier (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Oumoff (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).
Palmade, Professeur au Lycée de Montpellier.
Palmade, Capitaine du Génie, adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.
Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine.
Pellat, Professeur à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.
Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).
* Pérot, Dessinateur et Graveur.
Pérot (Alfred), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille.
Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.
Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.
Poincaré (Lucien), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 105 *bis*, boulevard Raspail.
Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.
Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 9, rue Marguerite.
Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, chef du contrôle de la Société normande d'électricité, 7, rue Henri-Barbot, à Rouen.
Pupin (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.
Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland.
* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

MM. Raymond, Ingén. principal des messageries maritimes à la Ciotat.
* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Renault (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain.
Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam.
* Rigout (A.), Docteur en Médecine.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.
Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart.
Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).
Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.
* Roger, Chef d'institution honoraire.
Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne.
Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.
Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.
Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.
Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.
* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.
* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.
Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Sebert (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des forges et chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier.
Seligmann-Lui, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart.
Sentis, professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble.
Serpollet, Ingénieur, 9, rue de Stendhal.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
Strauss, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.
Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.
Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).
Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard.
* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.
Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.
Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.
Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.
Troost, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte.
Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.
Vagniez (Edouard), à Amiens.
* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).
* Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique.
Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.
* Verrier (J.-F.-G.).
Villard (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

MM. VILLIERS (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENT (G.), Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

* WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

WEISS (Pierre), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur-Administrateur des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh.

DONGIER (Raphaël), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard.

GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, r. des Grandes-Carrières.

GINSBERG (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss et Cie, 8, rue d'Albouy.

HAMY (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux.

JACOBS (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

KOROLKOFF (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

LÉTANG (Dr Marc), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

MORIZE (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès-sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

PERRIN (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 37, rue Rousselet.

RAVEAU (C.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue des Écoles.

SAGNAC (G.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 26, rue Gay-Lussac.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

TOMBECK, Licencié ès sciences, 8, square du Croisic.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 41, rue de Trévise.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ALBERTOTTI (**Giuseppe**), Professeur d'oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (**G.**), Chef des travaux de physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, 2, rue Haudaudine, à Nantes (Loire-Inférieure).

ALLARD (**Félix**), Docteur en Médecine, 46, rue de Châteaudun.

ALLUARD Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, 19, avenue d'Orléans.

ANDRÉ (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).

ANGOT (**Charles-Alfred**), Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARBEZ (**Léon**), Industriel à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

ARSONVAL (**Dr d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernouilli.

AUBRY (**Alfred-Joseph**), Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

AUDIBERT, Professeur au Collège, allées Paul-Riquet, à Béziers (Hérault).

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 62, rue de la Flèche, à Niort (Deux-Sèvres).

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, boulevard Thiers, 8, à Dijon (Côte-d'Or).

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BAILLE (**J.-B.**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf.

MM.

BANDSEPT, Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).
BANET-RIVET (P.), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam.
BARBÉ (Dr, 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).
BARBIER (Paul), Ingénieur, 129, avenue de Villiers.
BARBILLON (Louis), Docteur ès sciences Physiques, Ingénieur électricien diplômé, 168, rue de Paris, à Vincennes (Seine).
BARDEL, Libraire, à Évreux (Eure).
BARDY (Charles), Directeur honoraire du Service Scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil.
BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.
BARY (Paul), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.
BASSAC, Professeur au Lycée, 23, boulevard de Tessé, à Toulon (Var).
BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.
BASSET (Alphonse), Professeur au Lycée de Bourges (Cher).
BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur du Service géographique de l'armée, 138, rue de Grenelle.
BATTELLI (Angelo), Professeur à l'Université de Pise (Italie).
BAU, Répétiteur Général au Lycée de Tunis (Tunisie).
BAUDOT (Émile), Ingénieur des télégraphes, 1, rue Littré.
BAUME-PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine.
BEAULARD (Fernand), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 1, rue Président-Carnot, à Grenoble (Isère).
BECKER, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine.
BECLÈRE (Antoine Dr), Médecin de l'Hopital Saint-Antoine, 1, rue Scribe.
BÉCORDEL (H. de), Receveur principal, à Grasse (Alpes-Maritimes).
BECQUEREL (Henri), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville.
BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).
BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 9, rue Brémontier.
BÉGHIN (Auguste), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 50, rue du Tilleul, à Roubaix (Nord).
BEL (Edgar), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).
BELL (Alexander Graham), 1331, Connecticut Ave., Washington D. C. (U. S. A.).
BELLATI (Manfredo), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).
BÉNARD (Henri), Agrégé, Préparateur au Collège de France, 45, boulevard le Port-Royal.
BENAVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BENOIST (Louis), Professeur au Lycée Henri-IV, 26, rue des Ecoles.
BENOIT (René), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).
BERG (Max.), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy.

MM.

BERGER (**Dr Emile**), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole de la Forge.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (Dr), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERGONIER, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 5, rue Sainte-Cécile, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11. rue Cujas.

BERNARD (**Alfred**), Professeur en retraite, 94, rue Riquet, à Toulouse (Haute-Garonne).

BERNARD, Professeur au Collège d'Apt (Vaucluse).

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 15, rue Guy-de-la-Brosse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

BERTIN-SANS (**Dr Henri**), Professeur, agrégé de la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes, à Nîmes (Gard).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Chef de l'Agence à la Compagnie générale transatlantique, à Alger (Algérie).

BÉTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 22, boulevard Saint-André, à Beauvais (Oise).

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS de Caen.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BIENAYMÉ (**A. F. A.**), Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, correspondant de l'Institut, 14, rue du Revel, à Toulon (Var).

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux (Gironde).

BLOCH (**Salvador**), Professeur au Lycée de Versailles, 40, rue de Tocqueville.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue La Rochefoucauld.

MM.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais.

BLONDIN (Joseph), Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

BLONDLOT (R.), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BLUMBACH (Theodor), Membre de la Chambre centrale des poids et mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences Physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte d'Or).

BODOLU (de), Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique de Budapest (Hongrie).

BOISARD (Louis), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram.

BOITEL (Louis-Albert), Professeur au lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia (Corse).

BONETTI (L.), Constructeur électricien, 69, avenue d'Orléans.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 11, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine.

BORDÉ (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann.

BORDENAVE (L.), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BORDET (Lucien), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon (Rhône).

BORGMANN (J.-J.), Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (Jagadis, Chunder), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 62, rue de Vaugirard.

BOUASSE (Henri), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).

BOUCHEROT (Paul), Ingénieur Conseil, 44, rue Laugier.

BOUDRÉAUX (Édouard), Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 4, rue Clovis.

BOUDRÉAUX (Léon), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille.

BOUDRET (Eugène), Professeur au Lycée, Villa Flore, coteau de l'Ermitage, à Agen (Lot-et-Garonne).

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

BOULANGER (Julien), Commandant du Génie, Chef du Dépôt central de Télégraphie militaire, 25, boulevard Montparnasse.

MM.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULOUCH (R.), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).

BOURGAREL (Paul), Professeur au Lycée de Grenoble (Isère).

BOURGEOIS (Léon), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV.

BOURGEOIS (Robert), Chef d'Escadron d'Artillerie, Chef de la section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle.

BOURNIQUE, professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 141, avenue Victor-Hugo.

BOUSQUET (E.), Directeur de l'École normale de Nice (Alpes-Maritimes).

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (Henri), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon (Rhône).

BOUCHARD (D^r^), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli.

BRANAS (Gonzalo), Professeur à l'Institut Provincial Ancha de San Andres, 3, La Coruna (Espagne).

BRANLY (E.), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BREWER (William-J.), Constructeur d'instruments pour les sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

BRIEU (Georges), Prof. à l'École normale, 11, rue Aubarède, à Périgueux (Dordogne).

BRILLOUIN (Marcel), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun.

BROCA (Dr **André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du Petit Séminaire de Toulouse (Haute-Garonne).

BROWNE (H.-V.), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNEL, Lieutenant d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles (Seine-et-Oise).

BRUNHES (Bernard), professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Berbisey, à Dijon (Côte-d'Or).

BUCQUET (Maurice), Président du *Photo-Club de Paris*, 12, rue Paul-Baudry.

BUDDE (Dr **E.**), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin. N. W. (Allemagne).

BUGUET (Abel), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 43, rue de la République, à Rouen (Seine-Inférieure).

CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude (Jura).

CADIAT, Ingénieur, rue Sainte-Cécile, à La Valette, près Toulon (Var).

CADOT (Albert), Professeur au Lycée 21, place Carnot, à Douai (Nord).

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.

MM.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche (Sarthe).

CAMICHEL (**Ch.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

CANCE (**Alexis**), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel.

CARPENTIER, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Malherbe, 9, rue des Croisiers, à Caen (Calvados).

CARVALLO (**E.**), Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac.

CASSAN (**Dr Antony**), Médecin-électricien, 5, rue des Pénitents, à Nantes (Maine-et-Loire).

CASTEX (**Edmond**), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 16, rue Bertrand, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice (Alpes-Maritimes).

CAVIALE (**V.**), Professeur de Physique à l'École normale, 49, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise).

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur-électricien, 3, place Victor-Hugo.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, Villa des Fougères, à Chaville (Seine-et-Oise).

CHAIR, Professeur au Lycée, 62, faubourg Montbéliard, à Belfort (Territoire de Belfort).

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

CHARDONNET (**le comte de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

MM.

CHARLE, Professeur au Collège de la Rochefoucauld (Charente).

CHARPENTIER (Dr **A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, 27, avenue de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 1, rue Duban.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT (**Henri**), chef des Travaux à l'Ecole supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renau.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, à la Villa Saint-Marc, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHEVALLIER (**Henry**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux (Gironde).

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHRISTEN (Dr **Th.**), 18, rue Pestalozzi, à Zurich V (Suisse).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Bayonne (Basses-Pyrénées).

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest (Finistère).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand.

COGNET (**Alfred**), Professeur au Collège de Bergerac (Dordogne).

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (**Emmanuel**), Prof. au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

COLLIN (**Th.**), Professeur au Lycée d'Alger (Algérie).

COLLANGETTES (R. Père), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Kademia utexa, 2, à Budapest (Hongrie).

MM.

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes Paris.

COMBES (**Charles**). Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 15, rue Bara.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

COPPET (**de**), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 1, place Sainte-Marguerite, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (**A.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute Garonne).

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée d'Amiens (Somme).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés Catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise (Indre-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tourcoing (Nord).

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Licencié ès sciences physiques, 15, rue Soufflot.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur-électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, 145, boulevard Montparnasse.

CURIE (**Pierre**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique, 42, rue Lhomond.

DAGUENET, (**P.-C.**), Professeur au Lycée Hoche, 4, rue Sainte-Victoire, à Versailles (Seine-et-Oise).

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas.

DAMIEN (**B.-C.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 74, rue Brûle-Maison, Lille (Nord).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 24, rue de la Cerisaie.

DECHEVRENS (le R. Père **Marc** S. J.), Ancien Directeur de l'Observatoire de Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, Observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences à l'Observatoire d'astronomie physique de Meudon (Seine-et-Oise).

MM.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi (Tarn-et-Garonne).

DEFFORGES (le Colonel **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, Bureau restant de Galata à Constantinople (Turquie).

DELATTRE (**Félix**), Ingénieur de la Maison Delattre et Cie, 34, rue Nain, à Roubaix (Nord).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture, à Novo-Alexandria, gouvernement Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Hte-Savoie).

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DELONCLE (**François**), Ministre plénipotentiaire, 59, rue de la Tour.

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 74, rue de Dunkerque.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers (Vienne).

DEMERLIAC (**R.**), Professeur au Lycée, 33, rue Bosnière, à Caen (Calvados).

DE METZ, Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).

DESCHAMPS (Dr **Eugène**), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

DESLANDRES (**H.**), Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (**André**), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier (Jura).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 81, rue du Gouédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

DESLIS, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).

DEVAUD, Professeur au Lycée, 35, boulevard Merenthié, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

DEVAUX (**Henri**), Professeur adjoint, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (**Louis**), Ingnéieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 5, rue de la Santé.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 1, rue Saint-Léonard, à Liège (Belgique).

DIGEON (**J.**), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage.

DINI (**Urbain**), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

MM.

DININ (**Alfred**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 69, rue Pouchet.

DIOMAR, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DOMERGUE (**E.**), Résident, à Haiphong (Tonkin).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson.

DONGIER (**Raphaël**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard.

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine d'Artillerie, en garnison à Cherbourg (Manche).

DOUCEUR, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 76, rue des Martyrs.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

DUBOIS (**René**), Professeur à l'École Turgot, 13, rue de Cluny.

DU BOIS (Dr **E.-H.**), Schiffbauerdamm, 21, à Berlin N.W. (Allemagne).

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabut (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon (Rhône).

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université de Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPOUY (Dr **Raoul**), Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux. (Gironde).

DUPERRAY, Professeur au Lycée, 20, rue Contrescarpe, à Nantes (Maine-et-Loire).

DUPONT (**Charles**), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (**Ernest**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 99, boulevard Arago.

DURAND, Censeur du Lycée Carnot à Tunis (Tunisie).

DUSSAUD, Ancien Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 160, boulevard Pereire, Paris.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

MM.

DVORAK (Dr **Vincent**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKY (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

ÉGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (**Serge**), Observateur à l'Observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel.

FABRY (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Clapier, à Marseille.

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy.

FAIVRE-DUPAIGRE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET (**Emile**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

FERRA (**C.-J.**), Résident, Directeur de l'Observatoire Phu-Lien, au Tonkin.

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École-de-Médecine, à Toulouse. (Haute-Garonne).

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux (Gironde).

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur-électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain.

FOUCHÉ, Directeur de la Société de l'acétylène dissous, 28, rue Saint-Lazare.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, place de Jussieu.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun.

FRÉMONT (Dr), rue du Geôle, à Caen (Calvados).

FRICKER (le Dr), 6, square de la Tour-Maubourg.

FROC (le R. Père), à l'Observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

FRUH (**Eugène**), 11, rue de Cujas.

MM.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GAILLARD (**Pierre**), Professeur au Lycée, 1, rue de Côte, à Roanne (Loire).

GAIN (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontaka, 144, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 42, rue de Clichy.

GALLOTTI, Professeur au Lycée, 20, rue Saint-Cyran, à Châteauroux (Indre).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Nevers (Nièvre).

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Charleville (Ardennes).

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

GARNUCHOT, Professeur honoraire du Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun (Seine-et-Marne).

GASCARD (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine, et de Pharmacie, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAUTIER (**P.**), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 1, avenue des Lilas, aux Prés-Saint-Gervais.

GAY (**Jules**), Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, Examinateur d'admission à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

GEITLER (Dr **J. Chevalier de**), Privat-docent à l'Université de Prague (Autriche).

GELLÉ (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 5, rue de la Chaise.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers (Maine-et-Loire).

GEORGUIEWSKY (**Nicolas**), rue Schpalernaja, maison 30, Log. 3, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur-électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

MM.

GÉRARD (**Éric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 43, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix (Nord).

GILBAUT, Professeur au Lycée, 31, rue André-Delieu, à Toulouse.

GILLES (**A.**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 21, rue Vauquelin.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 67, rue Claude-Bernard.

GIROUX, Ingénieur-opticien, successeur de M. Roulot, 19, rue de l'Odéon.

GIVERT (**Arthur**), Professeur au Lycée, 3 *bis*, rue de Nemours, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GODART (**Léon**), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.

GODART, Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne (Oise).

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY (**R.-E.**), Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKI (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 23, rue Truffaut.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

COSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (**Gustave**), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY (**G.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon (Cher).

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès sciences physiques, 81, rue de Lille.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Bar-le-Duc (Meuse).

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur-électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres (Angleterre).

MM.

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun (Saône-et-Loire).

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir, Lyon (Rhône).

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Cie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon (Côte-d'Or).

GUEBHARD (**Dr Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉROULT (**Georges**), Ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 17, avenue de Breteuil.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 43, rue du Rocher.

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra.

GUINCHANT (**J.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue de l'Hospice, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (**C.**), Ancien élève de l'École Normale Supérieure, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Nancy.

GUYE (**Philippe-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, Professeur agrégé à l'École Polytechnique de Zurich, 83, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYENOT (**Paul-Louis**), Docteur en Médecine, à Aix-les-Bains (Savoie).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20 Missionsstrasse, à Bâle (Suisse).

MM.

HAGENBACH (**Auguste**), Privat-docent à l'Université, Breite strasse, à Bonn-sur-Rhein, près Cologne (Allemagne).

HALE (**George**), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

HALLER (**A.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Le Goff.

HAMY (**Maurice**), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux.

HANRIOT (**Th.**), Ancien recteur des Ardennes, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HARKER (**Dr John Allen**), Docteur ès sciences, Membre du Owens-College, à l'Observatoire de Kiew, Richemond, Londres S. W. (Angleterre).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 89, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (**Pierre de**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liège (Belgique).

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie.

HEMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 43, rue Lhomond.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physique Biologique du Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient (Morbihan).

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 23, rue Marlot, à Reims (Marne).

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HIGISMOND (Frère), Professeur de Physique à l'École des Francs-Bourgeois, 212, rue Saint-Antoine.

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HIRSCH, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 1, rue Castiglione.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Vesoul (Haute-Saône).

HOMEN (**Théodor**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue de Chantilly.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HOULLEVIGUE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

MM.

HUDELOT, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

HURMUZESCU (Dragomir), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (Léon), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin), et 45, avenue Trudaine, à Paris.

HUTIN (Maurice), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine.

IMBAULT (G.), Censeur du Lycée Henri-Martin, à Saint-Quentin.

IMBERT (Armand), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INFREVILLE (Georges d'), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

IVANOFF (Basile), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (Joseph), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (Fernand), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevalliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée, 62, avenue Saint-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon (Seine-et-Oise).

JARRE (L.-M.), Ingénieur-Électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et Cie, 3, rue de l'Échelle.

JAUBERT (Dr Georges), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes.

JAUMANN (Dr G.), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 5, boulevard La Tour-Maubourg.

JAVAUX (Émile), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 33, rue Clavel.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 11, rue Caulaincourt.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense de Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé de), Licencié ès sciences Physiques et Mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOBIN (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOSEPH (Paul), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris.

MM.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

JOUBIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

JOUCLAS (Louis), 290, rue Saint-Jacques.

JOUKOWSKI (Nicolas), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes-Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (Eugène), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).

JUNGFLEISCH (E.), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi.

KAPOUSTINE (Théodore), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (Lord), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow, Netherhall, Largs, Ayrshire (Écosse). 15, Eaton Place, Londres, S. W. (Angleterre).

KERANGUÉ (Yves de), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques.

KŒCHLIN (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KŒNIG (Rudolph), Docteur en philosophie, Constructeur d'instruments d'acoustique, 27, quai d'Anjou.

KORDA (Désiré), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.

KOROLKOFF (Alexis), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux (Gironde).

KOWALSKI (Joseph de), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 77, rue de Prony.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble (Isère).

LACOUR (Alfred), Ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

LAFAY, Capitaine, adjoint à l'atelier de précision, représentant la Section technique de l'artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin.

LAFFARGUE (Joseph), Licencié ès sciences Physiques, Ingénieur-électricien, 70, boulevard Magenta.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAGRANGE (Eugène), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (Ulysse), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'Ecole des Beaux Arts et des Sciences Industrielles, 40, Allée Saint-Étienne, à Toulouse (Haute-Garonne).

MM.

LALANDE (F. de), Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 183, boulevard Saint-Germain.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAMOTTE, Agrégé, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement de la Faculté des Sciences, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 76, rue d'Amsterdam

LAPORTE, Ingénieur Civil des Mines, Ancien élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire Central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAROCHE (Félix), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram.

LAROCQUE, Inspecteur d'Académie, à Nantes (Loire-Inférieure).

LAROUSSE (Auguste), Chargé de Cours au Lycée, 28, avenue Bertrand-de-Born, à Périgueux (Dordogne).

LATCHINOW, Professeur de l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 6, chaussée Saint-Pierre, à Angers (Maine-et-Loire).

LAURENT (Léon), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAURIOL (Pierre), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAVERDE (Dr Jésus-Oloya), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAVIÉVILLE (Augustin), Inspecteur d'Académie, 14, rue Soufflot.

LAWTON (George Fleetwood), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LEBEDEW (Jean), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (J.-A.), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC (Maurice), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Boufflers, villa Montmorency, Paris-Auteuil.

LE BON (Dr G.), 29, rue Vignon.

LECARME (Jean et Louis), 35, rue de Fleurus.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet.

LE CHATELIER (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille.

LE CHATELIER (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (Louis), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

LE CHATELIER (Charles), 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LECHER (Dr Ernst), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LE CORDIER (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LEDUC, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

MM.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFÈVRE (**Z. H. D.**), Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric Petit, à Amiens (Somme).

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue du Rocher.

LEMESLE, Professeur et Secrétaire de l'École de Médecine et de Pharmacie d'Angers (Maine-et-Loire).

LEMOINE (**Émile**), Chef honoraire du Service de la vérification du gaz, 32, avenue du Maine.

LEMOINE (**Georges**), Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue Notre-Dame-des-Champs.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LEYMARIE, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon (Rhône).

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

LERAY (le Père **Ad.**), Eudiste, 12, rue du Quinconce, à Angers (Maine-et-Loire).

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 1re classe au 160e régiment d'infanterie, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre-et-Loire).

LESOBRE, Professeur au Collège, 7, rue Crevoulin, à Melun (Seine-et-Marne).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

LÉTANG (Dr **Marc**), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest à Conlie (Sarthe).

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, rue de Cazault, 124, à Alençon (Orne).

LHUILLIER, Professeur, rue Duguesclin, à Lorient (Morbihan).

LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA, à Philadelphie (États-Unis). Chez M. Stechert, 76, rue de Rennes, à Paris.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 58, rue Coste, à Cuire (Rhône).

MM.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

LOISELEUR, Professeur au Collège, 92, rue de Lyon, à Libourne (Gironde).

LOUGUININE (**W.**), Dr honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKI (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le **R.** Père **J.-D.**), S. I., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGGIN (Dr **Hans**), Karl Vilhermstr, 28, à Karlsruhe (Allemagne).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, 4, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences physiques, à l'Institut Physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur civil des Mines Industriel, 22, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MACH (Dr **ERNST**), Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Hofstattgrss, 3, Vienne (Autriche).

MACK (**Ed.**), Licencié ès sciences physiques, 10, rue de la Collégiale.

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

MALLAT (R. P. **Jean**), Professeur à Saint-Joseph College, à Trichinopoly (Indes anglaises).

MALLY (Dr **Francis**), 24, rue de Saint-Pétersbourg.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, à Athènes (Grèce).

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).

MANEUVRIER, Directeur Adjoint du Laboratoire des Recherches (physiques) à la Sorbonne.

MANVILLE (**Octave**), Répétiteur au Lycée, 21, rue d'Arcole, au Mans (Sarthe).

MM.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot.

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

MARSAL (**A.**), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (**E.**), Prof. au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche (Sarthe).

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Eglise du Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée de Nantes (Maine-et-Loire).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, place Dupuy, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (**Louis**), Professeur au Lycée, 64 *bis*, rue de la Polle, à Cherbourg (Manche).

MATHIEU (**Joseph-Louis**), Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient (Morbihan).

MAURAIN (**Charles**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

MELANDER, Préparateur à l'Université Skepparebrianten à Helsingfors (Finlande).

MÉNIER (**Henri**), Ingénieur, 8, rue Alfred de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse (Alpes-Maritimes).

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).

MESLANS (**Maurice**), 23, boulevard Saint-Germain.

MESLIN (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).

MESTRE, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges.

MM.

MEYER (**Dr Stefan**), Privat docent a l'Univesrsité Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN, Ingénieur de la Maison Gaiffe, 8, rue du Chemin latéral, à la Varenne (Seine).

MICHAUT (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 1, rue des Novices, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université 3, Strada Spatarului à Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat, et 11, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOËSSARD, Lieutenant-Colonel du Génie, 189, boulevard Saint-Germain.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur-constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONNIER (**D.**), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothenet, et 22, rue de la Faisanderie.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 5, rue Montebello, à Versailles (Seine-et-Oise).

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur, du Royaume de Belgique, Fondateur de l'Institut électro-technique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère.

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 49, avenue de la gare, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 40, rue Barathon, à Montluçon (Allier).

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo à Rio de Janeiro (Brésil).

MORIZOT, Chargé de Cours au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).

MORS, Ingénieur, constructeur d'appareils électriques, 84, rue du Théâtre, Grenelle (Paris).

MOSER (Dr **James**), Privat docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig).

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26e d'Artillerie, 69, rue Bobillot, au Mans (Sarthe).

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'Administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa, n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

MUIRHEAD (Alexandre), F. C. S., Sherborne Lodge, Sportlands Kent (Angleterre).

MULLER (Paul), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences, 1, rue Granville, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Nowoya Alexandria (Russie).

NACHET (A.), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (Camille), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NEGREANU (D.), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (de), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans (Loiret).

NICOLAIEVE (Wladimir de), Colonel d'artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NODON (Albert), Ingénieur-conseil, 69, rue Madame.

NOÉ (Charles), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (Louis), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, à Bruxelles (Belgique), Hôtel de France, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NOUGARET (Élie), Proviseur du Lycée de Grenoble (Isère).

OFFRET (Albert), Professeur de Minéralogie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, Chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.

OLIVIER (Louis), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 22, rue du Général-Foy.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel.

ONDE, Professeur au Lycée Henri-IV, 41, rue Claude-Bernard.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE (L.-P.), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 42, boulevard Magenta.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (Constant), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 58, rue de Turenne, à Lille (Nord).

PALAZ (Adrien), Docteur ès sciences, Professeur d'Électricité industrielle, à l'Université de Lausanne (Suisse).

MM.

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier.

PALMADE (**F.**), Chef de bataillon au Génie, Cheffrerie du Génie, à Lava (Mayenne).

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, Directeur de l'École Descartes, 46, rue de la Tour.

PARAYRE (l'abbé **D.**), Directeur de l'École Saint-Sauveur, à Saint-Germain-en-Laye (Seine-et-Oise).

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (**Lucien**), Professeur au Lycée de Châteaudun (Eure-et-Loire).

PAVILLARD, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Censeur du Lycée de Bourges (Cher).

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELLAT (**H.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instrument d'optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PELISSIER (**Georges**), 4, rue Dailly, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

PELISSIER (**Eugène**), Maître de conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'Ecole coloniale, 5, rue Sainte-Beuve.

PERNET (Dr **J.**), Professeur à l'Ecole Polytechnique, 84, Hofstrasse, à Zurich (Suisse).

PERNIN (**René**), 60, rue des Tournelles.

PEROT (**Alfred**), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 22, chemin des Chartreux, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

PÉROUX (**E.**), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue Camus à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PERRIER, Lieutenant au 13e d'Artillerie, 46, avenue du Polygone, à Vincennes (Seine).

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris, 9, rue Rataud.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PETIT (**A.**), Pharmacien de 1re classe, Licencié ès sciences physiques, 8, rue Favart.

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée de Nantes (Maine-et-Loire).

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

PEYRUSSON (Édouard), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin du Petit-Tour, à Limoges (Haute Vienne).

PFAUNDLER (Léopold), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut Physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PHASMANN (Augustin), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, Ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (A.), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher).

PHILIPPON (Paul), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, villa Denise, 20, rue Imbergères, à Sceaux (Seine).

PICOU (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.

PILLEUX, Ingénieur Électricien, 79, rue Claude-Bernard.

PILTSCHIKOFF (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

PISCA (Michel), Ingénieur des Arts et Manufactures, 152, rue Marcadet.

POINCARÉ (Antoni), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

POINCARÉ (Henri), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard.

POINCARÉ (Lucien), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 105 *bis*, boulevard Raspail.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens (Somme).

POLLARD (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (J.-B.), Ingénieur des Télégraphes, 7, Sentier des Jardies, à Bellevue (Seine-et-Oise).

PONSELLE (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

PONSOT (A.), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 26, rue Gustave-Courbet.

POPOFF (Alexandre), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 9, rue Marguerite.

POPPER (Josef), Ingénieur-Constructeur de machines, Seidengasse, 31, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Equitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PRÉAUBERT (E.), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

PRÉOBRAJENSKI (Pierre), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (Marin), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

MM.

PUPIN (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte de), 38, avenue Friedland.

POZZI-ESCOT (E.), à Mont-de-Neyrac, commune de Bergerac (Dordogne).

QUEFFELLEC (Auguste), Licencié ès sciences, Professeur au Collège Notre-Dame-des-Dunes, à Dunkerque (Nord).

QUERVAIN (Alfred de), à Muri, près Berne (Suisse).

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé, à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (Paul), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (Louis), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU (C.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue des Écoles.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

RAYMOND (Eugène), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Gironde).

RECHNIEWSKI (W.-C.), Ingénieur-Électricien, 1, avenue de l'Alma.

RECOURA (Albert), Doyen de la Faculté des Sciences de Lyon, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon (Côte-d'Or).

RÉGNARD (Dr P.), Membre de l'Académie de Médecine, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

RENARD (Charles), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).

RENAULT (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain.

REVOY, Professeur au Lycée Gay-Lussac, 25, avenue des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

REY PAILHADE (J. de), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

RIBAN (Joseph), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (Charles), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam.

RICARD (Dr E.), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

RICHARD (Jules), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue.

RICHET (Ch.), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT (Henri), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université 43, chemin des Grandes Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

RILLIET, Professeur à l'Université, 25, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.

MM.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 14, rue de Hambourg.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Capron.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Collège Vassiliewski Ostrow, 14e ligne, n° 23, log. 12, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 33, rue de Perpignan, à Pau (Basses-Pyrénées).

ROMILLY (**Félix de**), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (**Paul Worms de**), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac.

ROPIQUET, Pharmacien, à Corbie (Somme).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

ROUMAILLAC (Dr), à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Etienne (Loire).

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-le-Bas.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAGNAC (**Georges**), Agrégé de l'Université, Préparateur à la Faculté des Sciences, 26, rue Gay-Lussac.

SAID (**Dj. Mehmeh**), Ingénieur attaché technique à l'Ambassade de Turquie à Paris, 106, boulevard Arago.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du Gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 95, rue de Courcelles.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes (Gard).

SAMAMA (**A.**), rue Sidi-Sofian, à Tunis (Tunisie).

MM.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (**E.**), Docteur ès sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).

SARRAN, Professeur au Lycée, 10, rue Duffour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 12, quai Henri-IV.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**E.**), Employé des Postes et des Télégraphes, Câble sous-marin, à Haïphong (Tonkin).

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHÜRR (**Joseph**), Professeur au Lycée, Route de Clermont, à Montluçon. (Allier).

SCHWEDOFF, Professeur de Physique, Recteur de l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Bréguet, 15, rue Bizet.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf.

SECRETARY OF THE BOARD OF EDUCATION, Londres W. C. (Angleterre).

SÉGUIN, Recteur honoraire, 27, rue Chaptal.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 9, rue de Stendhal.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SIEGLER, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare.

SIGALAS (**Dr C.**), Professeur de Physique, à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Université Léopole, Dlugosza, 8, Léopole-Lemberg (Autriche).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 22, rue des Palais, à Bruxelles (Belgique).

SORET, Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SORET, Professeur à l'Université, 8, rue Beauregard, à Genève (Suisse).

SORBIER (**J.**), Professeur de Physique à Saint-Girons (Ariège).

MM.

STACKELBERG (baron **Édouard de**), Reval Dom Ritterhans (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STCHEGLAYEF (**Woldemar**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, Place Ossoxine, Maison Britneff, log. t, n° 11, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail.

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAVOLCA, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

STRAUSS, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap (Hautes-Alpes).

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.

SULZER (**E.-C.**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 85, rue Jeanne-d'Arc, à Lille (Nord).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte.

TANGL (**Charles**), Docteur de l'Université de Budapest, Eszterhasy-Utera, 3 (Hongrie).

TEISSENREC DE BORT (**Léon**), Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de météorologie dynamique de Trappes, 82, avenue Marceau.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste-agronome, 6, place Saint-Sulpice.

THIESEN (**Dr Max**), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres, N. W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Licencié ès sciences, 8, square du Croisic.

TONARELLI, Proviseur du Lycée de Chambéry (Savoie).

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade.

MM.

TOUANNE (de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.

TREUVEY (l'abbé **Charles**), Professeur de Physique au Collège de la Trinité, 58, rue de Sèze, à Lyon (Rhône).

TRIPIER (Dr), 41, rue Cambon.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.

TROUPOT (l'abbé **J.-E.**), Professeur à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc (Meuse).

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TSCHERNING (Dr **Marius**), Directeur-adjoint du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

TURPAIN, Docteurs ès scienes, Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue de Châteaudau, à Bordeaux (Gironde).

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 46, boulevard de l'Arsenal, à Bourges (Cher).

ULLMANN (**Jacques**), Constructeur-Électricien, 16, boulevard Saint-Denis.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemerchier, à Amiens (Somme).

VAN AUBEL (Dr **Edmond**), Professeur à l'Université de Gand, Chaussée Courtrai, 131[1], à Gand (Belgique).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIET, Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

VANDEVYVER-GRAU, Docteur ès sciences et Répétiteur à l'Université, 14, rue Saint-Amand, à Gand (Belgique).

VARENNE (**de**), Préparateur au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 7, rue de Médicis.

VAUGEOIS (**Jean Georges**), Ingénieur-Électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 7, boulevard Solférino, à Billancourt (Seine).

VASSEUR (**Alfred**), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens (Somme).

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (**Louis**), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue d'Alger, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 44, rue de Berlin, Dijon (Côte-d'Or).

VIEILLE, Ingénieur en Chef des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 12, quai Henri-IV.

VIGNON (**Léo**), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).

MM.

VIGOURGUX (Dr **Romain**), Médecin de l'Institut municipal d'Électrothérapie à la Salpêtrière, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

VILLARD (**P.**), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENS, Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, 158, boulevard Malesherbes.

VINCENT, Docteur ès sciences, Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 8, rue de l'abbé de L'Epée.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VIRIEU (Marquis **de**), 107, rue de la Pompe, ou au Château de Pupetières, par Chabons (Isère).

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur-Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, 74, boulevard Montparnasse.

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain.

WALLON (**Étienne**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony.

WEIL (**Albert**), Docteur, 151, boulevard Magenta.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 29, rue de Londres.

WEINBERG (**Boris**), Magistrant de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

WEISS (**Pierre**), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35, cours d'Herbouville, à Lyon (Rhône).

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

WEST (**Emile**), Chef du Laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines.

WOLFF (Dr **Edmond**), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

MM.

WUILLEUMIER (H.), Docteur ès sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur général des Postes et des télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF (G.), Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

XAMBEU, Principal honoraire, 12, rue du Hâ, à Saintes (Charente-Inférieure).

YVON (P.), Pharmacien, 26, avenue de l'Observatoire.

ZAHM (le R. P. J.-A.), Professeur de Physique, à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

ZILOFF (Pierre), Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Juillet 1900.

Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent de la Société, 11, rue Rataud.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

R. BENOIT. — Allocution prononcée dans la séance du 20 janvier 1899 5
H. PELLAT. — Perte d'électricité par évaporation de l'eau électrisée. — Vapeur émise par un liquide non électrisé. — Application à l'électricité atmosphérique. — Influence des fumées 14
PH. PELLIN et A. BROCA. — Spectroscope à déviation fixe 24
P. GAUTIER. — Sur le grand sidérostat de 1900 29
E.-H. AMAGAT. — Essai sur une forme nouvelle de la relation $f(pvt) = o$ relative aux fluides 51
A. MICHELSON. — Sur le spectroscope à échelons 60
H. ABRAHAM. — Sur la décomposition d'un courant à haut potentiel en une série de décharges disruptives 70
P. SACERDOTE. — La loi sur le mélange des gaz. — Nouvel appareil de démonstration 77
Pierre WEISS. — Sur l'aimantation plane de la pyrrhotine 88
A.-B. CHAUVEAU. — Sur la variation diurne de l'électricité atmosphérique 91
Wladimir de NICOLAIEVE. — Sur les actions mécaniques de la décharge disruptive 100
Wladimir de NICOLAIEVE. — Sur la production de la rotation électromagnétique des électrolytes 102
Daniel BERTHELOT. — Sur le mélange des gaz 102
J. CAURO. — Mesures sur le microphone 112
J. CAURO. — Mesure de l'intensité des ondes sonores 115
J. CAURO. — Vibration des plaques téléphoniques 117
FOLGHERAITER. — Sur les variations séculaires de l'inclinaison dans l'antiquité 118
Léon TEISSERENC DE BORT. — Etude de l'atmosphère dans la verticale par cerfs-volants et ballons-sondes 126
Albert TURPAIN. — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques 135
E. BOUTY. — Les gaz raréfiés sont-ils des électrolytes? 148

Pages.

H. Abraham et J. Lemoine. — Nouvelle méthode de mesure des durées infinitésimales. — Application à la disparition de la biréfringence électro-optique et de la polarisation rotatoire magnétique.. 155
Edmond Rothé. — Sur l'interrupteur Wehnelt. Existence d'un régime stable. — Influence sur l'éclairage des lampes........... 175
Henri Becquerel. — Recherches sur les phénomènes de phosphorescence produits par le rayonnement du radium............... 179
Henri Becquerel. — Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs.............................. 186

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

SÉANCE DU 6 JANVIER 1899.............................. 1*

G. Sagnac. — Sur la transformation des rayons par les différents corps simples.............................. 1*
Ch.-Ed. Guillaume. — Sur une illusion d'optique................ 2*
Ch.-Ed. Guillaume. — Recherches récentes sur la radiation d'un corps noir.............................. 3*
Ch.-Ed. Guillaume. — Résumé d'un travail de *M. Rutherford* sur les radiations uraniques.............................. 3*
Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1897-1898.. 3*

SÉANCE DU 20 JANVIER 1899.............................. 7*

E. Branly. — Sur les radio-conducteurs à limaille.............. 8*
H. Pellat. — Décharge d'un corps électrisé par l'évaporation de l'eau. — Application à l'électricité atmosphérique............. 9*
Ph. Pellin et A. Broca. — Spectroscope catadioptrique à grande dispersion et lunette fixe.............................. 10*

SÉANCE DU 3 FÉVRIER 1899.............................. 11*

N. Delaunay. — Sur une nouvelle classification des corps simples. 12*
Carvallo. — Sur la lunette de 60 mètres et son sidérostat, construits par M. Gautier et devant figurer à l'Exposition de 1900... 13*
H. Becquerel. — Sur la dispersion anomale de la vapeur de sodium et quelques conséquences de ce phénomène.......... 14*

SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1899.............................. 15*

H. Moulin. — Sur la loi des états correspondants.............. 16*
D. Korda. — Influence du magnétisme sur la conductibilité calorifique du fer.............................. 17*
P. Villard. — Sur l'action des rayons X.......................... 18*
G. Sagnac. — Remarque au sujet de la communication de *M. P. Villard*.............................. 19*

Pages.

SÉANCE DU 3 MARS 1899 .... 19*

AMAGAT. — Sur une forme de la fonction $f(pvt) = 0$ relative aux fluides 20*
Marcel BRILLOUIN. — Théorie moléculaire du frottement des solides polis 21*
Mme CURIE et P. CURIE. — Les rayons de Becquerel et les corps radio-actifs 22*

SÉANCE DU 17 MARS 1899 .... 24*

TISSOT. — Sur les expériences de télégraphie sans fil faites à Brest. 24*
OUMOFF. — Sur des expériences d'optique 25*
DESLANDRES. — Recherches récentes sur la chromosphère et l'atmosphère solaires 25*
P. VILLARD. — Sur l'interrupteur électrolytique de Wehnelt...... 28*

SÉANCE ANNUELLE. — Réunion du vendredi 7 et du samedi 8 avril 1899 .... 29*

SÉANCE DU 21 AVRIL 1899 .... 37*

L. POINCARÉ. — Compte rendu de l'Exposition annuelle.......... 37*
G. SAGNAC. — Appareil de M. P. Weiss pour montrer l'existence, dans la pyrrhotine de deux directions rectangulaires, dont l'une est magnétique et l'autre non magnétique 41*
GUÉBHARD. — Le « rayon vert »; sa pure subjectivité............ 41*
PELLAT. — Remarques au sujet de la communication de M. *A. Guébhard* 42*
RAVEAU. — Remarques au sujet de la communication de M. *A. Guébhard* 43*
HURMUZESCU. — Sur la transformation des rayons X par les différents corps 43*
G. SAGNAC. — Remarques au sujet de la communication de M. *Hurmuzescu* 43*
A. MICHELSON. — Sur le spectroscope à échelons............... 44*

SÉANCE DU 5 MAI 1899 .... 46*

P. SACERDOTE. — La loi du mélange des gaz, nouvel appareil de démonstration 46*
A. BROCA. — Cohéreurs régénérables très sensibles de MM. Blondel et Dobkevitch 47*
H. ABRAHAM. — Sur la décomposition d'un courant à haut potentiel en une série de décharges disruptives 48*

SÉANCE DU 16 MAI 1899 .... 49*

E. BRANLY. — Sur les radioconducteurs à alliages d'or et de cuivre. 50*
G. THUILLIER. — Les tachymètres à liquide de M. Vedovelli...... 50*

Pages.

CHAUVEAU. — Sur quelques théories relatives à l'électricité atmosphérique 50*
Décision du Conseil 52*

SÉANCE DU 2 JUIN 1899 .... 53*

H. PELLAT. — Appareil à combustion pour prendre le potentiel de l'air 53*
BASSOT (Général). — Sur une nouvelle mesure de l'arc du Pérou. 54*
DUSSAUD. — Le phonographe *Stentor* de MM. Pathé frères 54*

SÉANCE DU 16 JUIN 1899 .... 55*

G. SAGNAC. — Sur les actions mécaniques de la décharge disruptive 55*
J. CAURO. — Mesures sur le microphone 56*
L. TEISSERENC DE BORT. — Les moyens d'étudier l'atmosphère dans la verticale par cerfs-volants et ballons-sondes 57*

SÉANCE DU 7 JUILLET 1899 .... 58*

D. BERTHELOT. — Sur le mélange des gaz 58*
DESLANDRES. — Expériences de M. *Dewar* sur la liquéfaction de l'hydrogène 59*
J. CAURO. — Mesures des intensités des ondes sonores 60*
J. CAURO. — Vibration des plaques téléphoniques 60*

SÉANCE DU 3 NOVEMBRE 1899 .... 61*

H. PELLAT. — Recherches de M. *Folgheraiter* sur la variation séculaire de l'inclinaison magnétique dans l'antiquité 61*
ABRAHAM et LEMOINE. — Sur le phénomène de Kerr 62*

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1899 .... 64*

BLONDIN. — Travaux de M. *Turpain* sur les ondes hertziennes 65*
ABRAHAM. — Remarques au sujet de la communication de M. *Blondin*. 65*
SAGNAC. — Sur une nouvelle manière d'envisager la propagation des ondes lumineuses à travers la matière. Théorie nouvelle des phénomènes optiques d'entraînement de l'éther 66*

SÉANCE DU 1er DÉCEMBRE 1899 .... 66*

LONGUININE. — Appareils servant à la mesure des chaleurs de vaporisation 67*
BOUTY. — Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductivité électrolytique? 67*
ROTHÉ. — Sur l'interrupteur *Wehnelt* 69

Pages.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1899 .... 70*

Léon et Louis Lecarme. — Expériences de télégraphie sans fils exécutées entre Chamonix et le sommet du Mont Blanc 70*
H. Becquerel. — Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs 71*
Curie. — Remarques au sujet de la communication de M. *H. Becquerel* 72*
Wyrouboff. — Remarques au sujet de la communication de M. *H. Becquerel* 72*
P. Villard. — Remarques au sujet de la communication de M. *H. Becquerel* 73*
H. Le Chatelier. — Remarques au sujet de la communication de M. *H. Becquerel* 73*

Liste des ouvrages reçus pendant l'année 1899 .... 75*

Liste des membres de la société 86*

Table des matières 133*

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

